691
F68
v. 5-6

FOERSTER
BAUMATERIALIEN-KUNDE

V.-VI. HEFT

Leipzig Wilhelm Engelmann

LEHRBUCH

DER

BAUMATERIALIENKUNDE

ZUM GEBRAUCHE AN

TECHNISCHEN HOCHSCHULEN UND ZUM SELBSTSTUDIUM

VON

MAX FOERSTER
ORD. PROFESSOR FÜR BAUINGENIEUR-WISSENSCHAFTEN AN DER KÖNIGL. SÄCHS. TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU DRESDEN

HEFT V UND VI

II. ABSCHNITT: VERBINDUNGSSTOFFE
III. ABSCHNITT: NEBENBAUSTOFFE

MIT 50 TEXTABBILDUNGEN

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1912

691
F68
15-6

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung, werden vorbehalten.

Druck der Königl. Universitätsdruckerei H. Stürtz, A. G., Würzburg

Vorwort.

Mit dem vorliegenden Hefte gelangt das gesamte Lehrbuch zum Abschlusse.

In seinem ersten Teil behandelt unser Heft die Verbindungsstoffe, die verschiedensten Mörtelarten, den Beton, Asphalt und Kitt, während der zweite Teil den vorwiegend im inneren Ausbau, daneben für Dachdeckungs- und Umkleidungszwecke benutzten Nebenbaustoffen gewidmet ist. Es liegt auf der Hand, daß das namentlich in neuester Zeit für Architekten und Bauingenieure von besonderer Bedeutung gewordene Gebiet der Mörtel und Betone eine ausführlichere Behandlung verlangt hat, und unter ihnen wiederum der Portlandzementmörtel und -Beton — auch im Hinblicke auf ihre maschinelle Erzeugung — sowie die neuzeitlichen Traßkalk- und Traßkalkzementmörtel eine besondere Heraushebung erforderten. Hierbei legten aber der Umfang des Buches und sein Zweck, in erster Linie ein Lehrbuch zu sein, dem Verfasser insoweit Beschränkungen auf, als aus der gewaltigen Summe der, namentlich in den letzten Jahren, durch Forschungsarbeiten gewonnenen Erkenntnisse und der vielfachen aus der Praxis abgeleiteten Erfahrungen nur das Grundlegende und für ein Verstehen der Eigenschaften und der Wirkungsweise der hierher gehörenden Baustoffe Wichtigste in den Kreis der Betrachtungen und Erörterungen gezogen werden konnte; auch erschien es gerechtfertig, Sondergebiete, wie z. B. den Eisenbetonbau, in ihren Hauptsachen nur zu streifen und auf die hier vorliegende, umfangreiche Sonderliteratur zu verweisen.

Im zweiten Teile des vorliegenden Heftes sind eine ganze Anzahl von Nebenbaustoffen, wenn auch kurz, so doch in dem notwendig erscheinenden Umfange und den Anforderungen der baulichen Praxis möglichst angepaßt behandelt, wobei aber auf rein technologische Fragen nur insoweit eingegangen ist, als sie zum Verständnisse der Eigenschaften oder zur Beurteilung der Verwendung notwendig erschienen.

Möge das letzte Heft der Baumaterialienkunde bei meinen Fachgenossen die gleiche freundliche Aufnahme finden, wie seine Vorgänger und dazu beitragen, in den Kreisen der Architekten und Bauingenieure die heute leider noch viel zu wenig beachtete Kenntnis der Baustoffe in ihren mannigfachen wichtigen Beziehungen zur Praxis zu vertiefen.

Zum Schlusse spreche ich der Verlagsbuchhandlung Wilhelm Engelmann zu Leipzig meinen besonderen Dank aus für die weitschauende Förderung, die sie dem nunmehr abgeschlossen vorliegenden Werke allezeit hat angedeihen lassen, namentlich auch durch das Verständnis für die Schwierigkeit der Arbeit und die hierdurch bedingte lange Zeit der Bearbeitung.

Dresden, im Oktober 1912.

Professor **M. Foerster.**

Die außenstehenden Seitenzahlen beziehen sich auf das gesamte Lehrbuch, die innenstehenden nur auf den vorliegenden Teil desselben.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

II. Abschnitt: Verbindungsstoffe . . . . . 575—727

Kapitel XXIX. Die verschiedenen Mörtelarten . . . . . 575—706

§ 92. Das Wesen und der Zweck der Mörtel, ihre Einteilung und Geschichte . . 575—581

§ 93. Luftmörtel . . . . . 581—601

§ 94. Hydraulische Kalke (Wasserkalke) und verwandte Bindemittel . . . . . 601—607

§ 95. Roman-Zemente . . . . . 607—610

§ 96. Portlandzement, Portlandzementmörtel und -Beton . . . . . 610—684

§ 97. Eisenportlandzemente, Schlackenzemente und ähnliche Bindemittel (Mischzemente) . . . . . 684—692

§ 98. Hydraulische Zuschläge . . . . . 692—702

Literatur-Nachweisung zu Kapitel XXIX . . . . . 702—706

Kapitel XXX. Asphalt und verwandte Baustoffe (namentlich Kitte) . . . 706—727

§ 99. Die Bildung, das Vorkommen, die Arten und Zusammensetzung des Naturasphaltes, sowie seine Haupteigenschaften, seine Gewinnung und seine Prüfung 706—712

§ 100. Verwendung des Asphaltes im Bauwesen, künstlicher Asphalt . . . . . 712—723

§ 101. Die verschiedenen im Bauwesen gebräuchlichen Kittarten . . . . . 723—726

Literatur-Nachweisung zu Kapitel XXX 727

III. Abschnitt: Nebenbaustoffe, namentlich solche für Dachdeckung und inneren Ausbau . . . . . 728—765

Kapitel XXXI. Dachpappe, Holzzement, Ruberoid, Linoleum, Rohr und verwandte Stoffe . . . . . 728—745

§ 102. Dachpappe und verwandte Erzeugnisse . . . . . 728—733

§ 103. Ruberoid, Asbestgewebe, wasserdichte Gewebe für Bedachungen und Verkleidungsarbeiten, Linoleum, Kautschuk und Guttapercha . . . . . 733—741

§ 104. Filz, Gewebebauplatten, Rohr und Stroh . . . . . 742—745

Kapitel XXXII. Glas, Anstriche und Tapeten . . . . . 745—765

§ 105. Die Herstellung des Glases, seine Arten, Färbung, Eigenschaften, Verwendung und Prüfung . . . . . 745—750

§ 106. Anstriche, Farben und Lacke . . . . . 750—761

§ 107. Tapeten . . . . . 761—763

Literatur-Nachweisung zu Kapitel XXXI und XXXII . . . . . 763—765

Sachverzeichnis . . . . . 766—769

LEHRBUCH

DER

BAUMATERIALIENKUNDE

ZUM GEBRAUCHE AN

TECHNISCHEN HOCHSCHULEN UND ZUM SELBSTSTUDIUM

VON

MAX FOERSTER

ORD. PROFESSOR FÜR BAUINGENIEUR-WISSENSCHAFTEN AN DER KÖNIGL. SÄCHS. TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU DRESDEN

MIT 426 TEXTABBILDUNGEN UND EINER TAFEL

LEIPZIG

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN

1912

II. Abschnitt.

Verbindungsstoffe.

Kapitel XXIX.

Die verschiedenen Mörtelarten.

§ 92. Das Wesen und der Zweck der Mörtel, ihre Einteilung und Geschichte.

Die Mörtel dienen zur Verkittung und demgemäß zur Verbindung der einzelnen Steine zum Mauerwerk; sie werden in breiigem oder zähflüssigem Zustande in den Bau gebracht und erhärten hier in längerer oder kürzerer Zeit, seltener auf Grund eines physikalischen Vorganges, meist infolge chemischer Umsetzung; bei letzterer spielt die Bildung kohlen- bzw. kieselsauren Kalkes die Hauptrolle. Neben der Aufgabe des Mörtels, die Steine zu verkitten, hat er aber auch Kräfte fortzuleiten, welche auf das Mauerwerk entfallen; er ist deshalb ersterem entsprechend widerstandsfähig, d. h. vorwiegend druckfest, auszubilden und den jeweiligen Festigkeitsanforderungen anzupassen. Hierbei wirkt günstig, daß der Mörtel als Ausfüllung in den Fugen plattenförmig abgelagert ist.

Je nachdem ein Mörtel nur an der Luft erhärtet oder nur in Gegenwart von Wasser abbindet, unterscheidet man Luft- und Wassermörtel (hydraulische Mörtel); zwischen ihnen stehen die hydraulischen Zuschläge, welche, dem Luftmörtel zugesetzt, ihn befähigen, nunmehr auch unter Wasser zu erhärten. Zu den bekannteren Luftmörteln gehören: der untergeordnet verwendete Lehmmörtel, der Gipsmörtel, vor allem aber der Kalkmörtel; von letzterem werden unterschieden: der Weiß- oder Fettkalk- und der Graukalkmörtel — vgl. weiter unten. Von hydraulischen Zuschlägen sind zu nennen die verschiedenen Puzzolane, an erster Stelle der Traß, während für Wassermörtel in Frage kommen die hydraulischen Kalke, die natürlichen Zemente, auch Roman- oder Kalkzemente genannt, die künstlichen Zemente, vorwiegend die Portlandzemente, die Eisenportland- und Schlackenzemente.

Bisher ist in Deutschland noch keine einheitliche Bezeichnung der Mörtel durchgeführt; über die Schweizer Normen in dieser Hinsicht gibt die Anm.[1]) Auskunft.

[1]) Die Schweizer Normen vom Jahre 1900, herausgegeben von der Materialprüfungsanstalt in Zürich und genehmigt von den Produzenten und Abnehmern, beziehen sich auf eine einheitliche Benennung, Klassifikation und Prüfung der Bindemittel. Es werden unterschieden:

1. Luftkalke, 2. hydraulische Kalke, 3. Romanzemente, 4. Portlandzemente, 5. hydraulische Zuschläge, 6. Puzzolanzemente (gewonnen durch Mischung pulverförmiger Kalkhydrate oder hydraulischer

Nach ihrem Verwendungszwecke unterscheidet man: Mauermörtel und Putzmörtel, die zwar in der Art ihrer Grundstoffe gleich, aber in ihrer Mengenzusammensetzung und ihrer Verarbeitung verschieden sind.

Ein jeder Mörtel erhält außer seinem eigentlichen Bindestoffe Zusätze, meist aus Quarzsand bestehend, die ihn einerseits billiger, andererseits härter und widerstandsfähiger, zudem auch porenreicher machen sollen, um die chemische Einwirkung äußerer Einflüsse so verstärken.

Unter der Ausbeute eines Stoffes im Mörtel ist das Maß zu verstehen, in dem der Stoff zur Raumvergrößerung beiträgt; hierbei [1]) ist die Porenmasse des Sandes zu 40 %, seine eigene Masse also zu 60 %, die Ausbeute von Fettkalk zu 1,0, von Wasser zu 1,0, von Zement und Traß zu 0,48, von hydraulischem Kalke zu 0,28 zu rechnen.

Hat man z. B. einen Mörtel aus 1 Teil Fettkalk + 2 Sand + 0,4 Wasser, so beträgt die Ausbeute:

$$1{,}0 + 2 \,.\, 0{,}6 + 0{,}4 = 2{,}6.$$

Unter der Kittmasse ist die Summe aus Bindemittel und Wasser, unter der Dichtigkeit eines Mörtels der Quotient

$$d = \frac{\text{Kittmasse}}{\text{Hohlräume}} = \frac{\text{Bindemittel} + \text{Wasser}}{\text{Hohlräume}}$$

zu verstehen.

Mörtel, bei denen $d \geq 1$ ist, werden als dichte Mörtel bezeichnet.

Im obigen Beispiele ist die Kittmasse $1{,}00 + 0{,}4$, die Summe der Hohlräume $= 2 \,.\, 0{,}4 = 0{,}8$, also: $d = \frac{1{,}4}{0{,}8} = 1{,}75$, d. h. der Mörtel ist dicht.

Die Menge endlich eines Mörtels, der aus 1 Raumteil Bindemittel und n Raumteilen Sand zu gewinnen ist, ergibt sich aus der Beziehung:

$$\frac{G}{r_m} = M \text{ Liter Mörtel.}$$

Hierin bedeutet G das Gewicht der angemachten Mörtelmenge, r_m sein Raumgewicht; G ist $= r_k + r_s + w_n =$ dem Gewicht des Bindemittelpulvers + dem Gewicht des Mauersandes + dem Gewichte des Wassers, das erforderlich ist, um die trockene Mischung 1 : n in mauerrechten Mörtel umzuwandeln. Da (1 + n) Liter trockenes Material M Liter Mörtel ergeben, so ist mithin die **Ergiebigkeit** „E“:

$$E = \frac{M}{1 + n}.$$

Beispiel: Es handele sich um einen Kalkmörtel 1:3; $r_k = 0{,}746$; $r_s = 5{,}0$; $w_n = 1{,}06 = 18{,}4\,\%$ des trockenen Materials. $G = 6{,}81$; $r_m = 1{,}97$; $\frac{G}{r_m} = 3{,}45$; $E = \frac{3{,}45}{1+3{,}0} = 0{,}86$.

Geschichtliches. Daß schon vor mehreren Jahrtausenden Mörtel Verwendung fand, lehren die auf uns überkommenen Bauten des Altertums. Wenn auch in den ältesten Bauresten der vorderasiatischen Kultur vorwiegend Lehmmörtel, später Asphalt, im alten Ägypten Nilschlamm zur Verkittung der Steine benutzt wurde, so zeigt doch schon die Zeit des Pyramidenbaus einen aus Gips und Nilschlamm vermischten, also einen nicht mehr ausschließlich mechanisch, sondern z. T. chemisch wirksamen Mörtel. Wahrscheinlich ist auch Ägypten das Land, in dem zuerst Kalk gebrannt und zu Mörtel verwendet wurde.

Kalke mit staubfrei zerkleinerten hydraulischen Zuschlägen), 7. gemischte Zemente (gewonnen durch Zermahlung von Portlandzementklinkern mit Zuschlägen oder maschinelle Mischung fertiger Portlandzemente mit letzteren).

[1]) Vergl. Unna, Die Bestimmung rationeller Mörtelmischungen. 3. Aufl. Paul Neubner, Köln.

Zur Zeit von Christi Geburt war das Brennen und Löschen von Kalk und die Erzeugung von Mörtel mit seiner Hilfe, sowie die Erzeugung eines Wasserkalkmörtels bereits allgemein bekannt, gibt doch Marcus Vitruvius in seinem im Jahre 13 v. Chr. geschriebenen Werke „De Architectura" bereits Vorschriften, wenn auch dürftiger Art, hierüber[1]). Auch ist bekannt, daß der römische Staat durch besondere Beamte die Herstellung und Verarbeitung des Mörtels beaufsichtigen ließ.

Wenig Neues auf dem Gebiete des Mörtels brachten die folgenden Jahrhunderte. Durch das ganze Mittelalter hindurch bis gegen den Anfang des 19. Jahrhunderts behauptete der normale Weißkalkmörtel seine beherrschende Stellung; nur örtlich wurde er — wenn auch selten — durch Graukalk oder durch Traß bzw. Traßziegelsteinmörtel ersetzt. Traß zuerst in größerem Maßstabe und zwar in der Gegend des Mittel- und Niederrheins und vom 3. Jahrhundert n. Chr. an verwendet zu haben, ist das Verdienst der nach Germanien vordringenden Römer, die hier einen Baustoff fanden, der in seinen Eigenschaften der von ihnen schon seit mehreren Jahrhunderten mit bestem Erfolge zu Wasserbauten benutzten Pulvis puteolanus gleichartig war; dies zeigen uns die aus der Römerzeit stammenden Wasserleitungen in der Eifel, die rheinischen Kastellbauten, Mauerreste im alten Köln usw. Aber auch diese Kulturarbeit der Römer ging im Laufe der kommenden Jahrhunderte wieder verloren und erst vom Ende des 17. Jahrhunderts an scheint die Verwendung des deutschen Trasses im Großen — namentlich durch die Holländer — wieder in die Wege geleitet worden zu sein.

Wenn auch nicht verkannt werden darf, daß schon von sehr alten Zeiten her aus Naturkalksteinen mit tonigen Beimengungen unter Wasser gut erhärtende Mörtel gewonnen wurden, so war doch die Erkenntnis, worauf diese Wirkungen beruhen, noch nicht gefunden. Hier das erste Licht verbreitet zu haben, ist das Verdienst des englischen Ingenieurs Smeaton, des Erbauers des Leuchtturmes von Eddystone in der Bucht von Plymouth, der anläßlich dieses Baues nach einem, dem Andrange der Wogen und der Einwirkung des Meerwassers widerstehenden Kalk suchte und hierbei fand, daß alle Kalke, welche nach dem Brennen hydraulischen Charakter zeigen, bei ihrer Auflösung in Salpetersäure stets einen Rückstand aufweisen, der sich namentlich als Ton zu erkennen gibt; hierdurch war die erste Erkenntnis vermittelt, daß eine Tonbeimengung auf das hydraulische Verhalten der Kalke bestimmend einwirkt.

Zunächst waren es englische natürliche Wasserkalke, welche gegen Ende des 18. Jahrhunderts zu größerer Bedeutung gelangten und unter dem Namen „Romanzemente" Verwendung fanden. Mit dieser Namensgebung wurde an das altrömische Bindemittel angeknüpft, welches, aus Kalk und Puzzolanerde bestehend, oben erwähnt wurde.

Die ersten Versuche, ein künstliches hydraulisches Bindemittel durch Zusammenschmelzen von kohlensaurem Kalk und Ton zu erzielen, sind zu Anfang des 19. Jahrhunderts zunächst von Vicat in Angriff genommen worden, später aber in England zur Durchführung gelangt. Hier glückte es, obwohl bereits 1816 ein derartiges, aber nicht von Erfolg gekröntes Verfahren patentamtlich geschützt worden war — dem Bauunternehmer Aspdin in Leeds, das erste künstliche hydraulische Bindemittel zu erzeugen, wenn auch nach jahrelangen, mühe- und opfervollen Versuchen. Der Anspruch des am 21. Oktober 1824 erteilten, für die gesamte heutige Portlandzementindustrie grundlegenden Patentes lautet:

[1]) Vergl. Kapitel V vom II. Buch und Kapitel II vom VII. Buch (Brennen des Kalkes und Ablöschen des Kalkes) und Kapitel VI Buch II (Verwendung der Puzzolanerde zur Erzielung eines hydraulischen Mörtels). Vergl. auch weiter unten auf S. 580.

„Der Schlamm oder Staub der mit Kalkstein gepflasterten Wege oder — wenn dieses Material nicht in genügender Menge zu haben ist — Kalkstein, gebrannt und gelöscht, wird mit einer bestimmten Menge Ton mit Hilfe von Wasser durch Handarbeit oder irgendwelche Maschinen zu einem unfühlbaren Brei vermischt, die plastische Masse wird getrocknet, dann in Stücke gebrochen und in einem Kalkofen gebrannt, bis alle Kohlensäure entwichen ist; das gebrannte Produkt wird durch Mahlen, Kollern oder Stampfen in Pulver verwandelt und ist zum Gebrauche fertig."

Es ist also hier bereits der Gang des Herstellungsverfahrens angegeben, wie er noch heute — wenn auch hier und dort wenig oder mehr verändert — die Grundlage der gesamten Portlandzementherstellung bildet; es gebührt mithin auch, wie nunmehr allseitig und allgemein anerkannt wird[1]), Aspdin der Ruhm, die künstliche Herstellung eines hydraulischen Mörtels gezeigt zu haben. Aspdin nannte sein Erzeugnis **Portlandzement**, und zwar wegen der Ähnlichkeit — im besonderen in bezug auf Farbe, Härte und Festigkeit — mit einem in England viel verwendeten Naturgestein von der Halbinsel Portland in Dorsetshire.

Eine weitere Verbesserung erfuhr der Portlandzement infolge von Versuchen des englischen Generals Pasley, welcher den gewöhnlichen Kalkstein durch die englische Kreide ersetzte und diese mit blauem Septarienton — von der Mündung des Medwayflusses in die Themse — vermischte, aber nur im Schwachbrand gewonnenen Zement erzeugte. Erst 1845 erkannte Johnson das Fehlerhafte dieses Verfahrens und die Überlegenheit des gesinterten Klinkers; auch ermittelte er das geeignete Mischungsverhältnis von Ton und Kalk. Johnson ist mithin als der Vater der neuen, auf wissenschaftlicher Grundlage sich aufbauenden Zementindustrie anzusehen[2]).

Die guten Erfahrungen, welche mit dem künstlichen Zemente gemacht wurden, führten zunächst (am Ende der zwanziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts) zur Gründung der ersten Portlandzementfabriken in England, alsdann in weiterer Folge zu einer schnellen und umfassenden Entwickelung der englischen Portlandzementindustrie und zu einer Beherrschung des Weltmarktes bis über die Mitte des 19. Jahrhunderts hinaus.

1840 entstand in Frankreich die erste Portlandzementfabrik, und zwar in Boulogne-sur-Mer, 1855 die erste deutsche größere Anlage[3]) in Züllchow unweit Stettin; hier fanden — ähnlich wie in den englischen Betrieben — ein Septarienton, und zwar von

[1]) Vergl. hierzu die Ausführungen in B. u. E. 1904, Heft I, S. 5 und in D. B. Z. 1905, Nr. 7, S. 28, ferner die Protokolle der Versammlung des Vereins deutscher Portlandzementfabrikanten 1904, S. 144 und 1905, S. 144 und 145. Hier hebt Dr. Michaelis im besonderen hervor, daß Aspdin seine Erzeugnisse bis zur Sinterung gebrannt habe und demgemäß als Erfinder des Portlandzements anzusehen sei; allerdings soll sein Zement, wie es bei der reinen Empirie seines Verfahrens auch kaum anders zu erwarten steht, von noch sehr wechselnden Eigenschaften gewesen sein.

[2]) Von weiteren, im besonderen chemischen Arbeiten, das Wesen des Zementes zu erforschen, seien neben weniger wichtigen, französischen Veröffentlichungen genannt die Untersuchungen von John aus dem Jahre 1819, darauf hinweisend, daß im erhärteten Wassermörtel der Kalk nur teilweise als Karbonat vorhanden, zum Teil hingegen mit Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxyd chemisch verbunden sei, ferner von Fuchs (1829) und Pettenkofer (1849), die Einwirkung des Brennens erörternd, endlich die neueren Theorien von Winkler (1856), Zulkowsky (1863), Michaelis (1867), le Chatelier (1885), Törnebohm (1897), Rebuffat (1898), Rohland (1903) u. a. m.

[3]) Kleinere Versuchsanlagen befanden sich hierselbst schon von 1852 an, im besonderen hervorgerufen von Dr. Bleibtreu, der auch die Züllchower Anlage begründete.

der Odermündung, sowie Kreide von der pommerschen Küste — von Wollin — Verwendung. Über die Art und Weise, in welcher damals der Zement hergestellt wurde, geben die interessanten Mitteilungen in Anm.[1]) Aufschluß.

Da in Stettin ein Zement gewonnen wurde, welcher dem bisher fast ausschließlich verwendeten, englischen Erzeugnisse durchaus gleichkam und auch in wirtschaftlicher Beziehung den Wettbewerb mit dem englischen Material aufnehmen konnte, entstanden in Deutschland bald eine Anzahl von Zementfabriken, so in Oberkassel bei Bonn, Lüneburg, Oppeln, auf der Insel Wollin, bei Mannheim, in Finkenwalde bei Berlin, in Amöneburg bei Biebrich, in Ulm usw.

Bis 1860 war die Erzeugung von Zement in Deutschland verhältnismäßig gering. Der Wettbewerb des Auslandes — im besonderen wirksam wegen der billigen Seefracht von England nach den deutschen Hafenplätzen — und die zu den Hauptverkehrsstraßen nicht immer günstige Lage der deutschen Fabriken, nicht zum mindesten auch das falsche Vorurteil, die ausländischen Erzeugnisse seien den einheimischen überlegen, hinderten zunächst die Entwickelung der deutschen Zementindustrie. Erst in jahrzehntelanger Anstrengung gelang es deutscher Arbeit, gestützt auf ein einwandfreies, hervorragendes, auf wissenschaftlicher Grundlage hergestelltes Material, dem einheimischen Erzeugnis die ihm gebührende Stellung im Inlande wie auf dem Weltmarkte zu verschaffen[2]). Im besonderen waren diese Erfolge dem Umstande zuzuschreiben, daß einerseits die deutschen Fabrikanten die reine Empirie der Zementherstellung verließen, ihre Fabrikation ausschließlich auf wissenschaftlichen Boden stellten und andererseits scharfe Prüfungsvorschriften schufen, welche für eine gleichbleibende Güte des Materials Sicherheit boten. Grundlegend in diesen Beziehungen gearbeitet zu haben ist das Verdienst von Prof. Dr. Ing. h. c. Rud. Dyckerhoff in Biebrich a. Rh., von Prof. Hauenschild,

[1]) Vergl. B. u. E. 1905, Heft IX, S. 209 und 210: „Das fünfzigjährige Jubiläum der deutschen Zementindustrie, sowie die aus Anlaß dieses Jubiläums von der jetzigen Stettiner Portlandzementfabrik herausgegebene Festschrift". Die Fabrikation unter Dr. Bleibtreu war die folgende:

Die Wolliner Kreide wurde mit Hilfe eines Fahrstuhls auf den obersten Boden der Schlämmerei gehoben. Hier stürzte man sie in einen der sehr großen, gemauerten Schlämmbottiche und verwandelte sie in Schlamm. Nach anderthalb Tagen konnte das klare Wasser abgezogen werden, worauf man durch Analyse den Gehalt an kohlensaurem Kalk ermittelte. Ein Bagger brachte den Schlamm in den sog. Schlämmsaal, wo die berechnete Menge trockenen Tones aufgestreut und durch mehrmaliges Umstechen dem Schlamm einverleibt wurde. Hierauf ging die Mischung zwei- bis dreimal durch einen Tonschneider und wurde dann zu Ziegeln gestrichen, die auf den Herden von Koksöfen zum Trocknen abgesetzt wurden. Bereits am nächsten Tage wurden die Ziegel schichtenweise mit Koks in einen der drei Zementöfen eingesetzt, von denen jeder 200 Faß Zement lieferte. Jeder Ofen konnte wöchentlich einmal benutzt werden, sodaß in der Folge täglich 100 Faß erzeugt wurden. Die dem Ofen entnommenen Klinker wurden auf das oberste Stockwerk der Mühle gebracht und nach dem Zerschlagen der größten Stücke zwei Walzenpaaren zugeführt. Die Feinmahlung erfolgte auf sechs Mahlgängen. Das nach heutigen Begriffen sehr grobe Mehl war dabei so heiß geworden, daß es zunächst in eisernen Behältern abkühlen mußte, bevor man es in die hölzernen Fässer verpacken konnte. Man brauchte auf ein Faß Zement 60 kg Koks und 32 kg Steinkohlen. Der damalige Verkaufspreis von 15,20 Mark nach unserem Gelde für ein Faß deckte kaum die Herstellungskosten.

[2]) Das Anwachsen der deutschen Portlandzementindustrie — namentlich in der letzten Zeit — mögen die nachfolgenden Zahlen veranschaulichen. Die genannte Industrie bezahlte im Jahre 1886 8600000 Mark an Löhnen, im Jahre 1900 aber bereits 23200000 Mark für ein Jahr; die Anzahl der angestellten Arbeiter betrug in diesen Jahren 11800 bzw. 31400. Heute gibt es in Deutschland Werke mit einer Leistungsfähigkeit von mehr als einer Million Faß im Jahre.

Im Jahre 1910 betrug die Gesamtproduktion der zum Verein Deutscher Portlandzementfabrikanten gehörenden Zementfabriken 29600000 Faß Portlandzement. Vergl. Protokoll der Verhandlungen des vorgenannten Vereins vom 21., 22., 23. Februar 1910. Berlin 1910. Verlag der Tonindustrie-Zeitung.

Dr. Heintzel, Dr. Michaelis u. a., sowie dem Vereine der deutschen Portlandzementfabrikanten. Letzterem verdanken wir auch „die deutschen Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandzement", welche, aus dem Jahr 1877 stammend[1]), 1887 verändert und 1909 neuzeitlich bearbeitet und umgestaltet wurden.

Neben der Verwendung zu Mörtel liegt das hauptsächlichste Anwendungsgebiet der hydraulischen Bindemittel in der Erzeugung von Beton.

Erklärt man Beton durch den Grundbegriff „Grobmörtel" und versteht man hierunter eine Vereinigung der Bindemittel mit Sand, Kies oder Steinschlag, nebst Wasser in sehr verschiedenen Verhältnissen, so darf man aussprechen, daß die Anwendung des Betonbaues schon den alten Kulturvölkern bekannt gewesen ist.

Von den Römern wissen wir dies mit Bestimmtheit aus den Werken von Vitruv, Palladius u. a.; hier wird mitgeteilt, daß man schon damals Beton als Mauerwerk unter Verwendung von Kästen aus Brettern bei der Herstellung benutzte, überhaupt Beton in Form von Schüttungen und als erhärteten Steinblock verwendete. Im besonderen wird eines unter Caligula nicht weit von Neapel ausgeführten Molenbaues als eines hervorragenden Bauwerkes aus Beton Erwähnung getan. Der Beton der Römer scheint zuerst unter Verwendung hydraulischen Kalkes hergestellt worden zu sein; erst später dürfte man die günstige Einwirkung der hydraulischen Zuschläge Puzzolan und Santorinerde erkannt haben[2]).

Ausgedehnt in diesem Sinne war auch, wie schon vorerwähnt, der Abbau des Trasses zur Römerzeit in den z. T. noch heute im Betrieb befindlichen Brüchen in der vulkanischen Eifel unweit von Andernach a. Rh.[3]), d. h. die Verwendung dieses Zuschlages zum Beton.

Auch im Mittelalter ist — wenn auch in beschränktem Umfange — Beton verwendet worden. Allmählich aber ging diese Kunst verloren und auch die Zeit der Renaissance mit ihrem neu beginnenden Studium klassischer Baukunst und deren Errungenschaften hat hier wenig zu ändern vermocht; denn erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts finden sich, zunächst in Frankreich[4]), dann in England[5]), die Anfänge eines wiedererwachenden Betonbaues.

In Deutschland waren es zunächst einzelne Firmen, welche für den Betonbau eintraten; unter ihnen sind zu nennen, die 1838 gegründete Romanzementfabrik von Leube in Ulm, die schon von 1840 an Stampfbeton ausführte, die Firma Sattré in Düsseldorf und Dyckerhoff und Widmann in Karlsruhe bzw. Biebrich a. R.

---

[1]) Näheres s. bei dem Abschnitte: Portlandzement.

[2]) Vitruv sagt hiervon in seinem II. Buche seines Werkes „De Architectura":

Es gibt eine Staubart, welche von Natur wunderbare Dinge hervorruft. Sie kommt in der Nähe von Bajä und in dem Gebiete der Städte, welche um den Vesuv herumliegen, vor; sie verleiht in Verbindung mit Kalk und Bruchstein nicht nur den sonstigen Gebäuden Haltbarkeit, sondern, wenn man Dämme im Meere damit baut, so erhalten diese unter dem Wasser hohe Festigkeit.

[3]) Hier fand der Abbau unterirdisch vermittelst Stollen statt. Genaueres vergl. in: Hambloch Der Traß, seine Entstehung, Gewinnung und Bedeutung im Dienste der Technik. Julius Springer. 1909.

[4]) Im Jahre 1816 wurde in Frankreich eine größere Betonbrücke über die Dordogne bei Souillac aus Romanzement erbaut; 1834 fand der Beton in Form großer Blöcke von mehr als 10 cbm Inhalt beim Hafenbau in Algier Verwendung.

[5]) Zuerst wurde in England hydraulischer Kalk, dann Romanzement, endlich seit 1865 auch Portlandzement zum Betonbau benutzt. Hier kamen zunächst Betondecken zwischen gußeisernen Trägern in Aufnahme; ferner fand Beton zu Dock- und Molenbauten ausgedehnte Anwendung, so in Woolwich in Chatham und Portsmouth.

Heute gibt es kaum noch ein Gebiet des baulichen Schaffens, in dem der Beton sich nicht eingebürgert hat, namentlich in seiner neuesten Form in inniger Verbindung mit Eisen als Eisenbeton. Neben dem eigentlichen Portlandzement kommen hier als Bindemittel — wenn ihm gegenüber auch untergeordnet — die erst wenige Jahrzehnte alten Eisenportland- und Schlackenzemente[1]) zur Anwendung.

§ 93. Luftmörtel.

Hier kommen in Frage:
1. Lehmmörtel,
2. Gipsmörtel,
3. Luftkalkmörtel,

und zwar von letzterem 2 Unterarten a) der Fett- oder Weißkalkmörtel und b) der Grau(Magnesia- oder Dolomit-)kalkmörtel.

1. Der Lehmmörtel.

Der Lehmmörtel, aus mittelfettem Lehm und Wasser in Form eines mäßig dicken, gleichartigen Breies angemacht, dient nur untergeordneten Zwecken, vorwiegend in landwirtschaftlichen Bauten und hier im besonderen solchen, bei denen es sich um das Vermauern von Lehmsteinen handelt; ein allzu magerer Lehm gibt zu geringe Härte, während ein zu fettes Material durch erschwerte Trocknung und leichtes Reißen unvorteilhaft ist. Da Lehmmörtel von Wasser aufgeweicht wird und seine Erhärtung eine nur rein physikalische ist, so kann er ausschließlich für gegen die Feuchtigkeit des Baugrundes und der Atmosphäre geschützte Bauteile Verwendung finden, d. h. für Zwischenwände, für Außenmauern als Mörtel und Putz bei weit überstehenden Dächern u. dgl.; auch ist seine Druckfestigkeit eine sehr geringe und schon hierdurch seine Verwendbarkeit recht beschränkt. Für diese sprechen sein billiger Preis, die Einfachheit seiner Herstellung, die schlechte Wärmeleitung, die namentlich für seine Anwendung als Putz in die Wagschale fällt. Der gute Zusammenhang der einzelnen Mörtelteilchen wird durch Hinzufügung von zerschnittenem Stroh (Häcksel), Kiefernadeln, tierischen Haaren u. dgl. gesichert.

Zur Herstellung von Estrich — namentlich für Scheunentennen — wird der in Schichten von etwa 40 cm festgestampfte Strohlehm mit Hammerschlag vermengt und mit Teergalle (dem bei der Destillation zuerst abgehenden Wasser) oder Rindsblut getränkt; es entsteht ein durchaus elastischer, druckfester, dem Eindringen der Räder beladener Fuhrwerke bestens widerstehender Estrich. Schließlich kann Lehmmörtel auch zum Ausfüllen von Fachwerkwänden in Verbindung mit Stakhölzern sowie zum Lehmpiseebau — nach Vermengung mit Kies und Sand — Verwendung finden; es liegt auf der Hand, daß in letzterem Fall die zwischen Brettern gestampften Mauern bestens gegenüber der Erdfeuchtigkeit isoliert werden müssen.

2. Der Gipsmörtel.

Wie schon auf S. 176—177 hervorgehoben wurde, entstehen beim Brennen des Gipses je nach der hierbei verwendeten Temperatur und der teilweisen oder gänz-

[1]) Vergl. § 97.

lichen Austreibung des Hydratwassers zwei sehr verschiedene Bindemittel: der bei rd. 120—130° gebrannte, bläulich-weiße, mit Wasser schnell zu einer mäßig harten, nicht wetterbeständigen Masse wieder erhärtende Stuckgips und der bis zu etwa 950° C, d. h. nahe der Sinterzone gebrannte, hydraulische Eigenschaften zeigende, langsam aber bestens erhärtende, wetterfeste Estrichgips von rötlich-weißer Färbung. Letzterer allein bildet das Ausgangsprodukt zur Erzeugung des Gipsmörtels.

Vor dem Brennen werden die rohen, dem Steinbruche entstammenden Gipssteinstücke zerkleinert; hierzu bedient man sich, abgesehen von Handarbeit, maschinell betriebener Stampf- oder Walzwerke oder der Steinbrechmaschinen. Als Brennöfen kommen (für den Estrichgips)[1]) in Deutschland in Frage: der Harzer Schachtofen, der Erfurter Kammerofen, der Schachtofen von Albrecht Meier und der von Hotop[2]). Wenn auch im allgemeinen zum Brennen von Estrichgips eine Temperatur von rd. 500° C ausreicht, so muß doch mit Rücksicht auf die schlechte Wärmeleitung des Gipssteins, die Verdampfung des gesamten Hydratwassers, endlich eine sehr erwünschte Abkürzung der Brennzeit, eine erheblich höhere Temperatur bis etwa 950° C im Ofen herrschen. Dies entspricht dem Segerkegel 010. Die Zerkleinerung des Gipssteines für das Brennen geht hier nicht so weit wie beim Stuckgips; es genügen Stücke von 10—20 cm

[1]) Es sei hier kurz bemerkt, daß zum Brennen des Stuckgipses in Deutschland am meisten die sog. „Kocher" verwendet werden, d. s. Brennvorrichtungen für mehlfein gemahlene Gipssteine, bestehend aus Pfannen mit einer mechanisch betriebenen Rührvorrichtung und einer unter dieser angebrachten Feuerung, die in neuester Zeit durch eine Heizung mit überhitztem Wasser ersetzt wird. Von eigentlichen Öfen sind heute noch vielfach im Betrieb die sog. Backöfen mit Holz- und Braunkohlenheizung, in denen nach Zurückzug des Feuers der Gips, zu Taubeneigröße zerkleinert, mit annähernd gleichbleibender Temperatur gebrannt wird, ferner der Hoffmannsche Kesselofen, der Muffelofen von Bock, der Ofen von Kropf und endlich der Drehofen von Petry und Hecking. Der Kesselofen von Hoffmann (Bericht der Hauptversammlung des Deutschen Gipsvereins 1901, S. 51, DRP. 22400 vom Jahre 1882) besteht aus einem Kessel aus Eisenblech, ähnlich wie ein Dampfkessel ummauert, und mit einer Außenfeuerung ausgestattet, die rings mit Zügen versehen ist, welche die Feuergase auf die Außenfläche der Kesselwandung einwirken lassen. Der Gipsstein wird mit Hilfe eiserner Etagenwagen in den Kessel hineingefahren. Der Bocksche Kanalofen (Tonindustrie-Zeitung 1901, S. 145) wird in Mauerwerk errichtet und meist als Doppelofen ausgebaut. Die Feuerung liegt unter der überwölbten Kammer, und entsendet letztere allseits umgebende Heizkanäle; auch hier liegt der Gipsstein auf Förderwagen. Der Ofen von Kropf (Tonindustrie-Zeitung 1896, S. 47), zum Brennen von Gipssteinmehl dienend, zeigt einen stehenden zylindrischen Schacht aus Eisenblech, der zur Verringerung des Wärmeverlustes äußerlich mit Holz umkleidet ist. Der Zylinder wird durch 4 L-Stützen getragen, die ihn etwa 1,5 m frei schwebend über dem Boden halten, und besitzt in seinem Inneren eine Brennvorrichtung, die aus einer Anzahl übereinander angeordneter, eiserner Heizkörper besteht; diese sind an der einen Seite an ein Dampfzuleitungsrohr, auf der anderen an ein Kondenswasserableitungsrohr angeschlossen. In den Heizkörpern verdichtet sich der 150—160° besitzende Dampf zu Wasser, wodurch seine latente Wärme nutzbar gemacht wird. Der Drehofen von Petry und Hecking endlich ist für das Brennen des Gipssteines im Strome der Feuergase eingerichtet (Bericht der Hauptversammlung des Deutschen Gipsvereins 1901, S. 27, 1902, S. 43, DRP. 106048)); er brennt bis zur geringsten noch vorteilhaften Korngröße vorgebrochenen Gipsstein, und zwar (nach Vorwärmung) in einem drehbaren Eisenzylinder mittelst frischer Heizgase und im Gleichstrom; es treffen also die heißesten Gase auf den frischeren und daher noch weniger empfindlichen Gipsstein; zugleich wird das vorhandene feine Gipsmehl durch Verstärkung des Zuges der Feuergase zum Schutze gegen Totbrennen schnell fortgeführt, wozu die Fortbewegung des Brenngutes in gleicher Richtung wie die Feuergase wirksam mithilft.

Genaueres über diese Öfen und andere weniger häufig verwendete siehe in: Der Gips, II. Aufl., neu bearbeitet von Dr. Albert Moye, Leipzig 1906. Verlag Th. Thomas, S. 140—217.

[2]) Früher geschah das Brennen des Gipses auch in Meilern oder Haufen, indem man die größeren Gipssteine zu Feuergassen zusammenstellte und die kleineren darüber schüttete. Als Brennmaterial diente Holz. Diese Art zu brennen ist heute aufgegeben; nur noch in Ägypten wird Gips in dieser Art gebrannt.

Durchmesser, von denen die größeren deshalb erwünscht sind, weil sie einen guten Zug im Ofen sichern. Die zum Garbrennen erforderliche Zeit beträgt etwa 20—80 Stunden, der Brennstoffverbrauch mindestens 700 kg Steinkohle oder 1000 kg Braunkohle für je 10000 kg Estrichgips. Der Garbrand ist an dem Rissigwerden der Stücke auf ihrer Außenseite, und dem Verschwinden der einzelnen Gipskristalle im Innern zu erkennen.

a) Der Harzer Schachtofen ist ein einfacher, oben offener, zylindrischer Schachtofen, in den abwechselnd Gipssteine und Brennstoff, gleichmäßig verteilt und in wagerechten Schichten von oben aus eingebracht werden. Nach Entzündung der untersten Brennstoffschicht überträgt sich das Feuer mit dem Vorrücken des Garbrandes selbsttätig nach oben. Am Boden des gemauerten Schachtes befinden sich 2 oder 4 Ziehöffnungen. Als Brennstoff wird z. Z. kurzflammige Steinkohle von Nußgröße verwendet, und zwar in einem Rauminhalt von rd. $\frac{1}{10}$ der aufgegebenen Gipssteine. Der Betrieb des Ofens ist ein kontinuierlicher nach Art des Hochofens der Eisenindustrie, d. h. mit dem Abziehen des garen Gipses geht ein Nachfüllen von frischen Gipssteinen und von Kohlen Hand in Hand. Hierbei bilden sich in den verschiedenen Höhen Zonen mit verschiedener Temperatur heraus. Die Vorwärm-, die Brenn-, die Entwässerungs- und die Glühzone, endlich nach Verbrennen aller Kohle die Kühlzone. Damit ein gutes Abziehen des gargebrannten Gipses möglich ist, wird zweckmäßig auf der Sohle des Ofens eine vierseitige Pyramide eingebaut, auf deren steilen Flächen der Gips gut abgleitet.

In der Regel wird der Ofen als Doppelofen, d. h. aus zwei nebeneinander stehenden, gleichartigen Mauerwerkszylindern gebaut.

b) Der Erfurter Kammerofen (Tonind.-Ztg. 1900. S. 121) ist ein solcher, bei dem der Gipsstein nur mit der Flamme in Berührung kommt; er ist über rechteckigem Grundrisse errichtet, auf allen vier Seiten ummauert, durch ein Dach mit Schornstein abgeschlossen und mit einer Anzahl Rostfeuerungen einfacher Art versehen, die nebeneinander in eine Außenmauer eingebaut sind; sie liegen nebst ihren offenen Zügen im Boden der Brennkammer versenkt. In diese werden die Gipssteine, größere durch die Türe, kleinere durch die Fenster eingebracht; aus den größeren Stücken werden Feuergassen eingebaut, die zur Fortleitung der von den Feuerstellen kommenden Brenngase dienen. Der erzielte Gips ist ein durchaus gleichartiger, da alle Teile des Brenngutes ziemlich gleichmäßig von den Feuergasen getroffen werden.

c) Der Albrecht Meiersche Ofen (Ber. d. Hauptvers. d. Deutsch. Gipsvereins 1902, S. 26) besteht aus einem nach oben sich erweiternden trichterförmigen Schachte, an dessen unteren Teil sich vier außen und an den längeren Seiten des Trichters liegende Rostfeuerungen anschließen; von hier aus durchstreichen die Flammen den ganzen im Trichter befindlichen Gipsstein. Unter den Feuerungen verbreitert sich der Schacht wieder; hier ist ähnlich wie bei 1. zum bequemen Abziehen des gargebrannten Gipses ein pyramidenförmiger Sattel eingebaut[1]).

d) Der Hotopsche Ofen ist ebenfalls ein Schachtofen, der mit einer Koksfeuerung betrieben wird. In der Mitte des Ofens ist ein oben eingeschnürter hohler Chamottekern eingebaut, in den die von der Feuerung kommenden Gase gehen und dessen Außenfläche sie demgemäß erhitzen; rings um diesen Heizungskern liegt der ihn ringförmig umgebende Brennraum, durch den sich zudem radiale eiserne Rohre, vom Heiz-

[1]) Genaueres über diese Öfen sowie andere weniger häufige Systeme vergl. in dem in Anm. 1 auf S. 582 am Ende erwähnten, umfassenden Werke von Dr. Moye, S. 218—240.

kern ausgehend, ziehen, um die Brennhitze im Innern des Brennraumes gleichmäßig zu verteilen.

Dem Brennen des Estrichgipses folgt sein **Mahlen**. Als Maschinen für diese Arbeit kommen in Frage[1]: Zur Vorzerkleinerung: Steinbrecher, Glockenmühlen[2]) oder Brechschnecken[3]), zum Feinmahlen: Kollergänge, wagerechte und senkrechte Mahlgänge[4]) und Schleudermühlen (Desintegratoren). Zum Aussieben der einzelnen Korngrößen werden in der Regel Siebtrommeln verwendet.

Das Erhärten des gebrannten Estrichgipses, der chemisch betrachtet die Zusammensetzung: $CaOSO_3$ aufweist, entsteht in der Art, daß das zugesetzte Wasser einen Teil des in dem Brei enthaltenen Estrichgipses löst und ihn in ein Doppelhydrat verwandelt. Dieses ist in Wasser nur in geringerer Menge löslich als der Estrichgips; die somit mit Doppelhydrat übersättigte Lösung scheidet dieses kristallinisch aus. Hierdurch vermag dann dasselbe Wasser neue Mengen des leichter löslichen Estrichgipses aufzunehmen, ein Vorgang, der sich so oft wiederholt, bis aller Gips in Doppelhydrat umgewandelt ist.

Durch diese Art der Abbindung erklärt es sich, daß das Erhärten des Estrichgipses sehr viel langsamer vor sich geht als das Abbinden des Stuckgipses, da die Löslichkeit des letzteren in Wasser erheblich größer ist als die des ersteren und somit in gleicher Zeit geringere Mengen von Estrichgips hydratisiert werden als von Stuckgips.

Zur Herstellung von Gipsmörtel[5]) und Gipsbeton wird zweckmäßig kein besonders fein gemahlener Estrichgips verwendet, weil dieser allzuschnell erhärten würde, sondern i. d. R. ein körniges Material — von einer Korngröße wie scharfer Bausand — bevorzugt. Das Wasser ist gleichmäßig zuzusetzen und der Mörtel nicht zu dünn anzumachen, da er bei starkem Wassergehalt allzu porenreich wird. Meist wird dem Estrichgips zur Mörtelherstellung kein Sand zugefügt, weil er hierdurch an Erhärtungsfähigkeit und Festigkeit leidet[6]). Eine vielfach verwendete Mischung ist 8 RT. Gips auf 5 RT. Wasser, wobei 6 RT. eines gleichmäßig dickflüssigen Mörtels entstehen. Daneben finden sich auch Gipskalkmörtel, vielfach aus 1 RT. Gips und $^1/_3$ mit feinem Sande angemengten Kalkmörtel zusammengefügt; an Stelle von Sand kann auch mit Vorteil fein gemahlene Hochofenschlacke treten. Zweckmäßig ist es, den mit Wasser

---

1) Vergl. auch S. 120.

2) Glockenmühlen dienen zur Zerkleinerung der faustgroßen, aus dem Steinbruche kommenden Stücke. Die Mahlarbeit wird meist durch einen drehbar angeordneten Mahlkegel bewirkt, der sich innerhalb eines ihn umgebenden zylindrischen Mahlrumpfes dreht.

3) Brechschnecken oder Schraubenmühlen beruhen auf der Einwirkung eines mit stark hervortretenden Schraubenwindungen versehenen Walzenkörpers, der sich in dem, mit gerippten Hartgußplatten gepanzerten, Mühlenkasten bewegt.

4) Unter wagerechten Mahlgängen werden solche verstanden, welche, an senkrechter Achse sich drehend, in wagerechten Ebenen die Mahlarbeit ausführen, während senkrechte Gänge solche sind, welche sich um wagerechte Achsen drehen. Als Mühlsteine finden Quarzsteine Verwendung.

5) Daß Gipsmörtel schon im Altertume viel verwendet wurde, ist auf S. 576 hervorgehoben. Auch in Deutschland finden sich mehr als 1000jährige Baudenkmäler in der Gegend des Südharzes, bei denen Gipsmörtel seinerzeit verwendet wurde; hier ist namentlich das Kloster Walkenried zu nennen. In neuerer Zeit ist die Verwendung des Gipsmörtels als Mauermörtel vorwiegend örtlicher Art.

6) Es liegt dies daran, daß der chemisch völlig neutrale Gips keine Verbindung mit dem Sande eingeht, sondern hier die Sandkörner nur als Fremdkörper zwischen den Gipsteilchen liegen und somit deren festes Verbinden hindern; auch verlangt hier die Art der Erhärtung nicht (wie bei Kalkmörtel) die Schaffung von Poren zur Einleitung der Abbindung und Erhärtung.

angemengten Estrichgips 24 Stunden stehen zu lassen, ehe man ihn verbraucht. Der Mörtel verträgt verhältnismäßig tiefe Temperaturen und ist noch bei 5—10° C Kälte gut verarbeitbar.

Eisen in Berührung mit Gips ist zweckmäßig zu verzinken, weil sonst durch die Schwefelsäure des Gipses eine Oxydation des Eisens eintritt.

Für a) Wand- und b) Deckenputz auf Rohrung u. dgl. verwendet man a) 3 RT. Kalk auf 1 RT. Gips und 4½ RT. feinen weißen Sandes, b) 2 RT. Gips auf 1 RT. Sand, also keinen Kalkzusatz. Recht gut fällt der Wandputz aus, wenn man einen Unterputz von Gips, mit Leimwasser angemacht, verwendet, und diesen glatt reibt und abschleift. Da Gips neutral reagiert, eignet sich ein reiner Gipsputz auch für die Aufbringung von Wandmalerei. Auf feuchten Wänden ist Gipsputz nicht verwendbar, da er hier nicht trocknet und mit der Zeit seine Bindekraft verliert. Durch Tränkung mit Leinöl oder in Benzin gelöstem Paraffin wird Gipsputz abwaschbar.

Ein neuerer Putz — Marmorputz — besteht vorwiegend aus Gips bzw. aus Gips und Weißkalk. Zum Anmachen dient hier ein zinkhaltiges Wasser mit dem gleichen Raumteil einer Lösung eines Alkalisilikates von 3° Bé und dann noch mit ebensoviel Wasser versetzt. Der Putz ist von großer Härte und marmorähnlichem Aussehen, dauernd und wetterbeständig.

Ein anderer Edelputz, der sich den in § 94 erwähnten Terranova usw. Putzarten anreiht, aber vorwiegend aus Gips besteht, ist Helioth, von A. Möller in Altona. Das bestens bewährte Mittel dient zu einem abwaschbaren Hart- und Glanzputz für Wände und Decken und zeichnet sich aus durch vielseitige Farbmöglichkeit, dauernden Glanz, vollkommene Fugenlosigkeit, bequeme Reinhaltung, große Dauer und Preiswürdigkeit. Helioth wird auf einen Unterputz von hydraulischen, bestens gelöschten Kalken aufgebracht und mit ihm kräftig verrieben, dann gefärbt und geglättet; ein Abwaschen mit Seifenwasser etwa 2 mal im Jahr und ein einmaliges Nachpolieren in dieser Zeit werden empfohlen.

Vor dem Kalkmörtel hat der Gipsmörtel wesentliche Vorzüge. Er haftet fester am Stein, erhärtet schneller und kann — wie oben erwähnt — unbedenklich bei geringerer Kälte verwendet werden; auch ist Gipsmörtel besonders geeignet bei Verlegung hellfarbiger Fußböden oder Wandflächen, bei denen der Kalk (bzw. Zement) mörtel unschöne, dunkle Fugen ergibt; auch läßt sich Gipsmörtel für diesen Zweck beliebig und dauerhaft färben.

Gipsbeton wird aus gemahlenem Estrichgips, Sand und Steinen, auch Ziegelkleinschlag, Schlackengruß, Bimskies u. dgl. und Wasser hergestellt und vorwiegend zu Gipspiseebau verwendet. Zuerst werden i. d. R. die Steinstückchen in die (festen oder transportablen) Formen gefüllt und diese dann mit einem alle Hohlräume ausfüllenden Gipsmörtel aus 1 RT. Sand, 2 RT. Gips und 1½ RT. Wasser ausgegossen; zum guten Anschlusse einer folgenden Schicht werden in die noch nicht erhärtete vorangehende Steinstückchen eingedrückt, welche somit als Binder in die neue Schicht eingreifen. Bei einem derartigen „Guß“ vermag 1 Teil Gips 3 Teile Füllmittel zu binden. Diese Zahl erhöht sich beim Stampfen des Gipsbetons auf 1 : 7; daß letzterer härter und deshalb später auch weniger bearbeitbar wird als der Gußgipsbeton, dürfte erklärlich sein. Eine Zufügung schwefelsaurer Salze in geringer Menge zum Anmache-Wasser beschleunigt die Erhärtung des Gipsbetons. Es liegt auf der Hand, daß ein Gipspiseebau gegenüber der Erd- und Bodenfeuchtigkeit bestens zu isolieren ist,

Über Kunststeine aus Gips (Analith-Steine, Gipsplatten, Kunstmarmor u. s. f.) vgl. die Ausführungen in § 19 Seite 177 bis 189).

Zu Gipsestrich wird meist grob gemahlener, hydraulischer Gips ohne Sandzusatz verwendet. Beim Anmachen wird der Gips so langsam mit einer Schaufel in das Wasser eingetragen (eingestreut), daß sich keine zusammenhängenden Ballen bilden. Man fährt hiermit so lange fort, bis der Gips das Wasser überragt. Nachdem sich der Gips mit Wasser gesättigt hat, wird die Masse durchgearbeitet und gut gemischt, bis sie etwa die Beschaffenheit eines normalen Kalkmörtels aufweist; auch hierbei darf keine Neigung zur Klumpenbildung sich zeigen; vielmehr muß ein gleichmäßiger Brei entstehen. Zur Unterbettung dient eine geebnete Sand- bzw. Kohlenaschen-, besser eine Ziegelschicht[1]); sowohl die etwa 10 cm hohe Unterlage, wie der Estrich selbst sind ausreichend feucht zu halten. Nach etwa 12 Stunden pflegt der Estrich so fest geworden zu sein, daß man mit dem Finger nur noch einen geringen Eindruck in ihn machen kann; alsdann beginnt man ihn durch Schlagen mit hölzernen oder eisernen Schlageisen zum Zwecke späterer größerer Erhärtung zu verfestigen. Durch das Zusammenschlagen auf rund $^3/_4$ der ursprünglichen Höhe wird die Gipsmasse aus dem Zustand der Erstarrung in einen zähen Brei zurückgeführt, der im Verlaufe weniger Tage von neuem erhärtet, jetzt aber sehr viel weniger porös und demgemäß härter und fester als ohne Schlagen ist. Es hat dies seinen Grund darin, daß durch die Verdichtung des Estrichs neben dem Austreiben von Luft aus den oberen Schichten Wasser aus den unteren nach oben gelangt und hier die Hydratisierung befördert. Nach etwa 8—14 Tagen ist der Estrich begehbar; um ihn mit Linoleum zu belegen, ist eine vollkommene Austrocknung notwendig.

Manchmal fügt man aus Gründen der Billigkeit auf 1 RT. Gips $^1/_3$ Quarzsand oder Kohlenasche zu, auch kann die Oberfläche durch Eindrücken natürlicher oder künstlicher Steinstückchen beliebig gefärbt und belebt werden. Ein Zusatz von Portlandzement, der aber nicht mehr als 1,5 v. H. betragen soll, befördert die Erhärtung. Schwinden und Treiben des Gipsestrichs tritt nicht ein, wenn auf 1 RT. Wasser etwa 2,4 RT. Gips Verwendung finden; vielfach ist ein Mischungsverhältnis von 1 Wasser : 3 Gips üblich = 2,5 T Mörtelmasse.

Über die Festigkeit des Gipsmörtels liegen nur wenige Versuche vor. Tetmajer fand bei Untersuchung der Schweizer (Stuck-)Gipse:

	nach 7	28	84 Tagen	
eine Zugfestigkeit:	11,8	19,3	23,1	kg/qcm
eine Druckfestigkeit:	55,6	83,2	127	kg/qcm

Nach Dr. Moye[2]) beträgt die Druckfestigkeit von Estrichgips nach feuchter Lagerung der Würfel schon nach 14 Tagen nicht selten 200 kg/qcm und steigt nach 4 Wochen bis auf 220—230 kg/qcm; nicht allzu selten zeigen sich auch Festigkeiten über 250 kg/qcm. Als Größtwert der Zugfestigkeit gibt Moye 20 kg/qcm an; hier findet sich kein so ausgeprägter Unterschied, wie bei der Druckfestigkeit zwischen Stuck- und Estrichgips.

Vielfach wird die Güte des Gipses durch eine einfache Kuchenprobe (vgl. die Ausführungen beim Abschnitte Portlandzement) bestimmt, die man nach Erhärtung von der Glasplatte abhebt und in die man von unten her mit dem Messer eine gerade Linie einritzt. Beim Zerbrechen soll der Kuchen in dieser Linie brechen

[1]) Es ist zu vermeiden, Gipsestrich auf einer Beton- oder Zementmörtelunterlage aufzuführen, da an der Berührungsfläche leicht ein Treiben und damit eine Lockerung stattfindet.

[2]) Vergl. sein Werk Der Gips, II. Aufl., S. 324 und 325.

und der Bruch vollkommen glatt und scharf sein. Das Treiben des Gipses[1]) weist man zweckmäßig mit Hilfe des Nadelringes von le Chatelier nach, d. h. eines 30 mm breiten und 30 mm Durchmesser zeigenden, an einer Seite aufgeschnittenen, federnden Messingringes; an der Trennungsfuge sind 2 feine Nadeln von 150 mm Länge aufgelötet, die sich mit ihren Spitzen berühren, sofort aber auseinandergehen, wenn der im Ringe angemachte Gipsmörtel eine Ausdehnung erfährt.

Einen weiteren Anhalt über die Güte des Gipses liefert die Bestimmung des Wasserbedarfes beim Anmachen, d. h. des Gewichtes des Gipses, das mit 100 ccm Wasser sich zu einem steifen Brei vereinigt; es sei aber hervorgehoben, daß die grob gemahlene Handelsware nicht allzu scharfe Ergebnisse liefert.

Die Erhärtung des Gipses (nach seinem Abbinden) wird zweckmäßig mit Hilfe der für Zementprüfungen verwendeten Vicatschen Nadel — allerdings mit Aufbringung besonderer Gewichte auf diese — geprüft. Die mit der Zeit zunehmende Belastung der Nadel wird hier so bemessen, daß diese nur um 5 mm unter die Oberfläche des Kuchens eindringt. Dr. Moye gibt in seinem Werke: „Der Gips“[2]) an, daß die Belastung in besonders günstigen Fällen nach 24 Stunden schon 1 kg, nach 4 Tagen 10 kg, nach 8 Tagen 21 kg überschritt.

Zur Bestimmung der Druckfestigkeit werden Würfel von 50 qcm Grundfläche benutzt, die durch Gießen oder Stampfen in eisernen, innen (gegen das Rosten) mit Schellack überstrichenen Formen erzeugt werden. Zusatzstoffe werden hierbei trocken mit dem Gips vermengt und mit diesem zusammen in das Wasser eingestreut; nur wasserabsaugende Stoffe — wie Kohlenasche, Bimskies u. dgl. — bringt man in wassergesättigtem Zustande in den Gipsbrei. Bei dem steifen Estrichgips werden die Formen bis etwa $^3/_4$ cm über die Oberkante gefüllt und alsdann glatt abgestrichen. Das Entformen erfolgt, sobald die Masse einem sanften Drucke des Fingernagels standhält. Würfel aus Mischungen mit Sand usw. werden zweckmäßig mit Hilfe des Böhmeschen Hammerapparates eingeschlagen. Die Würfel sind während ihrer Abbindezeit bedeckt zu lagern, damit das Wasser nur wenig verdunstet. Die Verdunstung ganz zu verhindern, empfiehlt sich nicht; hierbei bleiben die Körper etwas weich. Nach dem Abbinden lagern die Körper zweckmäßig in Gipswasser oder unter feuchtem Sande. Im ersteren Falle ergibt sich eine höhere Druckfestigkeit.

Zur Bestimmung der — weniger wichtigen — Zugfestigkeit dient zweckmäßig die 8-er Form des Zementprobekörper und der Michaelis-Frühlingsche Gewichtsapparat. Die Herstellung und Behandlung der Proben ist die gleiche wie beim Druckversuche[3]).

3. Der Luft-Kalkmörtel.

Luftkalke sind Erzeugnisse, gewonnen durch Brennen von Kalksteinen, die nur an der Luft erhärten und deshalb zu sogen. unselbständig erhärtenden Mörteln führen, im Gegensatz zu denen, die auch unter Luftabschluß fest werden. Alle gar gebrannten, kristallinisch-körnigen oder dichten Kalksteine, die beim Löschen unter erheblicher

---

[1]) Über die Treibeprobe vermittelst Preßkuchen u. dgl. vergl. das Moyesche Werk: Der Gips, II. Aufl., S. 319–321.

[2]) Die bezüglichen Angaben befinden sich in der II. Aufl. (1906) auf S. 318.

[3]) Genaueres über die chemische und mechanische Prüfung von Gips siehe in dem mehrfach genannten Moyeschen Werke (II. Aufl. 1906) S. 294—329.

In allerneuester Zeit hat auch der Deutsche Gipsverein Vorschriften zur einheitlichen Prüfung herausgegeben. 1912. Verlag Tonindustrie-Zeitung.

Wärmeentwickelung und Raumvergrößerung in ein mehlig weiches oder körnigsandiges Pulver (Kalkhydrat) zerfallen, liefern fetten bzw. mageren **Luftkalk**.

Nach der chemischen Zusammensetzung der Kalksteine und dem hierdurch bedingten, auch in der Aufbereitung zum Ausdrucke kommenden, verschiedenartigen Verhalten, unterscheidet man: a) Weiß- oder Fettkalk, auch Speckkalk genannt, gewonnen vorwiegend aus kohlensaurem Kalke mit nur geringen Beimengungen (weniger als 10 v. H.), b) Graukalk, Magnesia- oder Dolomitkalk.

a) Weißkalk.

Chemisch reine Kalkerde, CaO, bestehend aus 71,4 Gew.-T. Kalzium und 28,6 Gew.-T. Sauerstoff, wird durch längeres Glühen von kohlensaurem Kalk gewonnen. Bei über 400° C fängt der Stein an, seine Kohlensäure zu verlieren, bei 1330—1400° C ist dieser Vorgang zu Ende geführt.

Theoretisch entweichen bei einem Kalkstein aus 100 Gewichtsteilen 44 Teile CO_2, während 56 Teile CaO, d. h. Ätzkalk, zurückbleiben. Da jedoch die wenigsten Kalksteine rein sind, sondern einen mehr oder weniger großen Gehalt an Wasser, an organischen Beimengungen, an Kieselsäure, Tonerde, Eisenoxyd, Magnesia u. dgl. besitzen, so ist auch die Ausbeute schwankend. Im Gegensatze zu der sehr erheblichen Gewichtsverminderung steht eine geringere, etwa 10—20 v. H. betragende Volumenänderung.

Das Brennen des Weißkalkes erfolgt i. d. R. zwischen den Segerkegeln 10—14; der Brand darf einerseits nicht zu schwach sein, weil sonst das Innere des Kalksteins nicht umgewandelt wird, andererseits auch nicht zu stark betrieben werden, da sonst der unreine Kalk — namentlich bei Tongehalt — oberflächlich oder auch im Inneren versintert, totgebrannt wird. Dies ist bei reinem Kalkstein nicht zu befürchten, der selbst bei den höchsten Temperaturen noch nicht schmilzt; hierbei ist jedoch darauf zu achten, daß nicht am Stein anhaftende Quarzerde, Berührung mit tonhaltiger Asche der Brennkohle u. dgl. doch noch eine Schädigung bewirken. Gesinterter Kalk ist namentlich deshalb gefährlich, weil er zur Bildung von „Sprengkörnern“, die zum Treiben im Mörtel Veranlassung geben, führt, während zu schwach gebrannter Kalk durch geringe Ergiebigkeit beim Löschen unwillkommen ist.

Gargebrannter Kalk darf nur noch geringe Mengen von CO_2 enthalten, wovon man sich — an einer Probe — durch Übergießen mit einer Säure überzeugt.

Die Kalkbrennöfen werden unterschieden in periodisch und dauernd betriebene; auch trennt man sie, je nachdem man Kalksteine und Brennmaterial lagenweise einbringt, oder eine besondere Feuerung anordnet, in Öfen mit „kurzer“ und „langer“ Flamme.

Zu den periodisch betriebenen, heute nur noch wenig benutzten Öfen sind zunächst die schon im Altertume verwendeten Meiler-, sowie Gruben-Feldöfen zu zählen; hierher gehören ferner die Trichteröfen und die deutschen oder Kasseler Öfen.

Die meist kreisrund gebauten Meiler (bis 5 m Durchmesser und Höhe) werden aus Kalkstein- und Steinkohlenlagen mit im Innern freigelassenen Schürgassen zusammengebaut und während 5—6 Tagen in Glut erhalten; es liegt auf der Hand, daß das Enderzeugnis von ziemlich ungleichmäßiger Beschaffenheit ist. Gruben- und Feldöfen werden meist an der Böschung eines Kalksteinbruches unmittelbar angelegt und — nach Auskleidung der Wände mit größeren Kalksteinen — der Einsatz in diesen so ausgeführt, daß in der Mitte ein ausreichend großer Brenn- und Schürraum verbleibt, in den meist Holz als Brennstoff eingeführt wird; auch hier ergibt sich ein ungleich gebrannter, stark verunreinigter Kalk.

Trichteröfen bestehen aus einem im Querschnitte meist kreisrunden, nach oben sich erweiternden Schachte, an dessen unterem Ende sich eine oder mehrere mit Rosten versehene Feuerstellen befinden, welche zum Entzünden des Ofeninhalts dienen; dieser besteht auch hier aus schichtweise eingetragenen Kalksteinen und Brennstoff; letztere stützen sich auf ein vorübergehend über den Rost in den Schacht eingebautes Gewölbe aus Kalksteinen mit ausreichend großen Fugen oder auf ein dauerndes, durchbrochenes Chamottegewölbe. Für die gebrannten Kalksteine sind seitliche Abzugsöffnungen angeordnet.

Über den Kasseler Ofen vgl. S. 307 und Abb. 94a u. b.

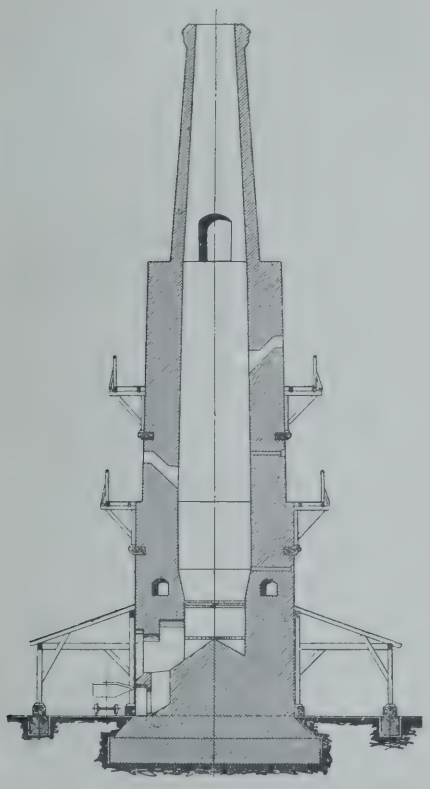

Abb. 1.
Schachtofen zum Brennen von Kalk mit unten liegender Feuerung.

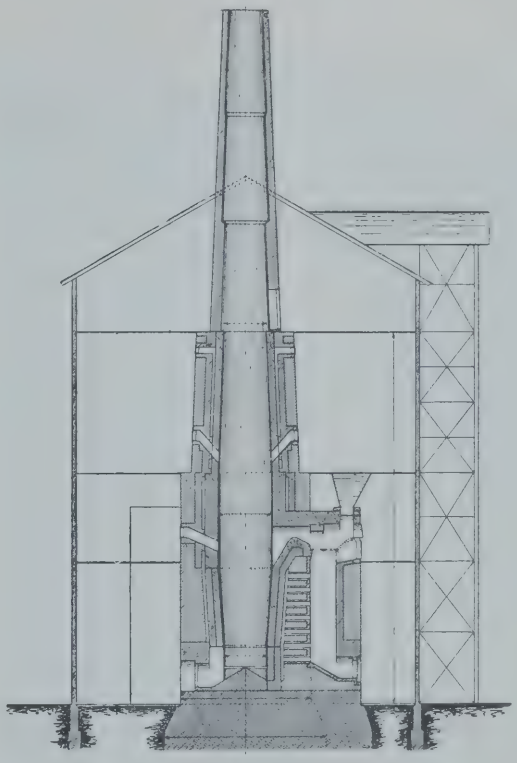

Abb. 2.
Schachtofen zum Brennen von Kalk mit seitlicher Feuerung.

Die Leistung der periodisch brennenden Öfen ist eine beschränkte, der Brennstoffverbrauch ein hoher[1]).

Von Daueröfen kommen in Frage Schacht- und Ringöfen.

Schachtöfen — einfacher Art, wie sie Abb. 1 zeigt — können sowohl mit kurzer wie mit langer Flamme betrieben werden, je nach dem besonderen Zwecke und dem Rohmaterial. Vorwiegend wird kleinstückiger Kalk im Ofen gebrannt; die Leistung an gebranntem Kalk geht von 5000—10000 kg für einen Tag; namentlich bei größeren Öfen erreicht der Verbrauch an Kohle nur 16—18 v. H. Die Ofenhöhe beträgt meist 12—14 m, die Lichtweite an der Gicht 1—3 m. Beim Einsetzen des Kalksteins ist auf eine gute „Dichtung“ an den Seitenwänden zu achten, damit das Feuer nicht vorwiegend

[1]) Man gebraucht etwa 40—50 kg Kohle, um 100 kg gebrannten Kalk zu erhalten.

hierher geleitet wird und im Ofeninnern kein ungarer Kalk verbleibt. Die Feuerung kann — wie Abb. 1[1]) erkennen läßt — unmittelbar im untersten Teile des Schachtes liegen, oder, Abb. 2[1]), mittelst seitlicher Roste bewirkt werden. Da im letzteren Falle die Verbrennung der Brennstoffe außerhalb des Ofens stattfindet, kommt der Kalk mit Kohle oder Asche nicht in Berührung und bleibt demgemäß ziemlich rein. Die Rostfeuerungen lassen sich auch leicht als Halbgasfeuerungen ausbilden, indem der auf dem Rost nur teilweise zu CO (neben CO_2) verbrannte Kohlenstoff bei seinem Eintritte in den Brennschacht unter Hinzutritt hocherhitzter Verbrennungsluft nachträglich noch in CO_2 umgewandelt wird; zu diesem Zwecke wird z. B. besondere Speiseluft unter den Rostflächen dem Ofen zugeführt. Auch kann die Feuerung unmittelbar durch Generatorgase (aus Stein- oder Braunkohle, Torf, Holz usw.) bewirkt werden (System Witte, Baier usw.).

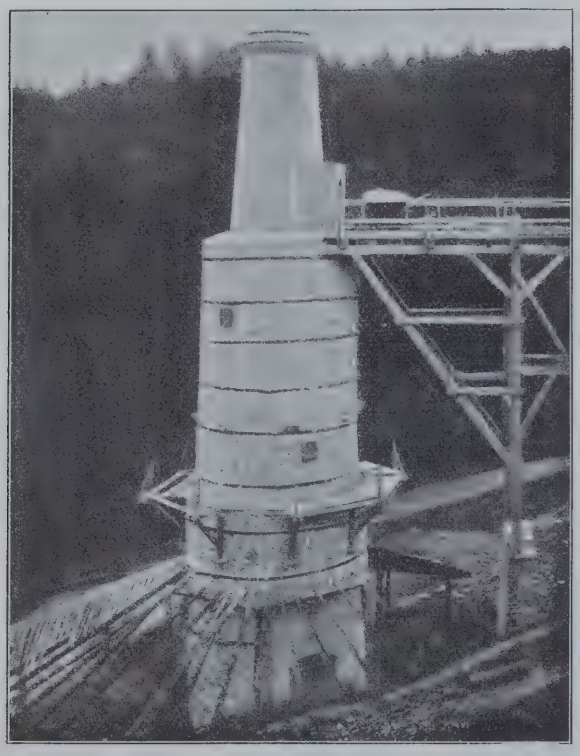

Abb. 3.
Ansicht eines Schachtofens mit Beschickungsbrücke.

Meist werden — Abb. 3 — die Schachtöfen in Verbindung mit dem Steinbruche so angelegt, daß sie die Anordnung einer Aufzugsmaschine ersparen und der Kalkstein unmittelbar nach dem obersten Teile des Brennschachtes auf einer einfachen, wagerecht liegenden Transportbrücke verkarrt werden kann. Die Leistung der Öfen ist eine begrenzte.

Als besondere Art eines Schachtofens sei genannt: der Rüdersdorfer Kalkofen, ein einfacher Schachtofen mit einer Anzahl seitlich liegender Feuerungen und einem in einzelne Kammern in senkrechtem und wagerechtem Sinne geteilten Umbau. Diese Kammern dienen zum Aufbewahren von Brennstoff, Vorwärmen des Ofens bzw. der Lagerung des fertiggebrannten Kalkes. Da die Feuerungen erst etwa 2 m über der Sohle des Schachtes in diesen einmünden, so kühlt der fertig gebrannte Kalk im untersten Schachtteile bereits etwas ab.

Der Ringofen ist für den Großbetrieb heute der bevorzugte Kalkofen, weil er gestattet, bis zu 200000 kg Kalk in 24 Stunden zu brennen, einen Kohlenverbrauch von nur 12—20 v. H. des Kalkgewichtes aufweist, den Betrieb beliebig einzuschränken und zu verstärken erlaubt und einen außerordentlich gleichmäßig gebrannten Kalk aus dem in großen Stücken einzubringenden Steinmaterial erzielt.

Die Anordnung und der Betrieb der in der Kalkindustrie verwendeten Ringöfen ist im allgemeinen den für das Brennen der Ziegel benutzten gleichartigen Öfen entsprechend[2]); nur wird hier — bei der normalen Streufeuerung — der rohe Kalkstein in den Kammern besonders aufgestapelt und zwar so, daß unter den Heizlöchern senk-

[1]) Abb. 1—3 sind der Broschüre von Rudolf Witte, Ingenieur, Osnasbrück, Ofen für die Kalkindustrie, entnommen.

[2]) Vergl. S. 309—313.

rechte Schächte zum Einwerfen des Brennstoffes bis auf die Kammersohle und in den untersten Schichten Feuergassen zur Weiterleitung der Verbrennungsluft und Fortführung der Gase nach dem Rauchkanal ausgepart werden. Die zylindrischen Heizschächte sind hierbei naturgemäß senkrecht über die Gassen zu setzen, wie überhaupt besondere Sorgfalt und gute Sachkenntnis beim Einsatz der Kalksteine obwalten müssen, um eines gleichmäßigen Garbrandes sicher sein zu können.

Nach den Grundrißformen der Öfen kann man auch hier, wie bei denen der Tonindustrie, unterscheiden: Langringöfen oder Mehrschenkelringöfen, nach der Art der Befeuerung solche mit Streufeuerung (vgl. oben), daneben mit Rost- und Gasfeuerung. Einfache Längsöfen sind für Tagesleistungen bis zu 50000 kg am Platze, darüber hinaus empfehlen sich Doppel- oder mehrfache Betriebe, namentlich solche mit großer Brennlänge, d. h. hoher Ausnutzung der Feuergase[1]); auch gestatten diese Mehr-Schenkelöfen sich dem anstehenden Gelände aufs beste anzuschließen.

Die Streufeuerung, d. h. die Einschüttung des Brennstoffes zwischen das Brenngut von oben aus, bildet die meist verwandte Feuerungsart; naturgemäß wird hierbei der Kalk ein wenig durch Asche und Verschlackungen verunreinigt, was zwar für die spätere Benutzung als Mörtelbildner ohne Bedeutung ist, aber von der chemischen Industrie unangenehm empfunden werden muß. Um reinen Kalk zu erzielen, sind deshalb Ringöfen mit an der Außenseite der Brennkammern auf deren Sohle angeordneter Rostfeuerung, daneben — seltener nach System Hotop — mit Gasfeuerung erbaut worden; hierbei wird das Gas in abseits vom Ofen liegenden Generatoren erzeugt und mit Hilfe von Kanalzuleitungen und durchlöcherten Chamotteröhren den Kammern sehr gleichmäßig zugeleitet[2]).

Dem Brennen folgt das Löschen des Kalkes. Gebrannter Weißkalk, der die Fähigkeit und das Bestreben hat, aus der Luft größere Feuchtigkeitsmengen und mit ihnen CO_2 aufzunehmen und sich hiermit zu verbinden, ist möglichst frisch zu löschen. Die Löscharbeit kann von Hand aus oder maschinell im Großbetriebe — in den Kalklöschereien — erfolgen. In jedem Falle ist für Zufügung von Wasser in erheblichem Überschusse und kräftiges Durcharbeiten des entstehenden Breies Sorge zu tragen; jedoch darf auch an Wasser nicht allzuviel zugesetzt werden, weil hierdurch das „Gedeihen“ des gelöschten Kalkes, d. h. die infolge der Hitze- und Dampfentwickelung eintretende Erscheinung des Quellens mehr oder weniger beeinträchtigt wird. Im allgemeinen brauchen theoretisch 56 Gew.-T. CaO 18 Gew.-T. H_2O, um 74 Gew.-T. CaH_2O_2 zu bilden, d. h. es erfordern zu diesem Übergange 100 Gew.-T. CaO 32 Gew.-T. Wasser; praktisch werden aber zunächst zu 1 T. Kalkstücken 2 T. Wasser zugesetzt, worauf der Brei, damit er nicht verbrennt, mittelst eiserner Krücken stark umgerührt wird, um schließlich — nach etwa $^1/_2$ Stunde — nochmals $^1/_2$ - 1 Teil Wasser zuzufügen; im ganzen werden also 2,5—3 T. Wasser zugesetzt. Dr. Kiepenheuer gibt in seinem in Anmerkung 2 erwähnten Werke an, daß zu 1 cbm gelöschtem Kalk durchschnittlich 1,4 cbm Wasser gebraucht werden. Da 1 cbm gelöschter Kalk aus 0,55 cbm gebranntem Kalk gewonnen wird, so erfordert mithin 1 RT. gebrannter Kalk zum Ablöschen $\frac{1,40}{0,55}$ rd. 2,6 Teile Wasser. — Das Löschen selbst erfolgt meist in Pfannen oder

[1]) Zu nennen sind hier u. a. die Öfen, gebaut von Eckardt und Ernst Hotop, G. m. b. H., Köln und Berlin. In neuerer Zeit sind Öfen mit 4 und 5 Schenkeln ausgeführt worden mit täglicher Leistung bis 300000 kg.

[2]) Genaueres vgl. in Kalk und Mörtel von Dr. L. Kiepenheuer, Köln 1907. Kom.-Verlag v. H. A. L. Degener, Leipzig. S. 173—175.

Löschbänken, d. s. hölzerne Behälter mit an einer Seite verschließbarer, vergitterter Abflußöffnung. Der zunächst flüssige Kalkbrei wird nach einigen Tagen infolge Verdunsten (und Versickern) des überflüssigen Wassers steif und erhält nach kurzer Zeit auf seiner Oberfläche 2—3 cm tiefe Risse, die ein Zeichen seiner vollkommenen Ablöschung, also seiner Verwendbarkeit sind. Während dieser Kalk für Mörtelzwecke sofort benutzbar ist, empfiehlt es sich, ihn für Putzarbeiten noch längere Zeit stehen zu lassen, um sicher zu sein, daß auch alle kleinsten Teilchen gut abgelöscht sind, und später kein „Blasentreiben" an Wand- und Deckenflächen eintritt.

Die Aufbewahrung des fertig gelöschten Kalkbreies erfolgt in besonderen Kalkgruben, die je nach der Beschaffenheit des Bodens, in den sie gegraben werden, ohne bzw. mit Ausmauerung hergestellt werden. Während eine solche in wasseraufsaugendem Sande nicht zu vermeiden ist, braucht man in festem Lehm- oder ähnlichem Boden keine Ummauerung, ja eine solche wäre in diesem Falle unzweckmäßig, da hier das überflüssige Wasser, welches zudem später Ausblühungen veranlassende Salze in Lösung zu enthalten pflegt, versickern kann. Gemauerte Kalkgruben werden am besten — falls Platz vorhanden — mit abgeböschten, 1/2 Stein starken Wänden und gleichartig ausgebildetem Boden ausgeführt [1]); wenn hier auch beim erstmaligen Benutzen das Wasser durchsickert und der Kalk vielleicht ein wenig trocken wird, so wird sich doch bald hinter der Mauerbekleidung eine Kalkschicht bilden, welche den Wasserdurchlauf in erheblichem Umfange verhindert. Der in Gruben aufbewahrte Kalk wird von einer Sandschicht überdeckt, d. h. angenähert unter Luftabschluß aufgehoben und hält sich hier sehr lange; höchstens muß die oberste, bereits abgebundene Schicht beseitigt werden. In diesem Sinne soll auch das Ausstechen des Kalkes aus der Grube in flachen Schichten erfolgen, um den übrig bleibenden Teil wieder gleichmäßig mit einer Sandschicht überdecken zu können.

Sehr viele, auch einwandfrei gelöschte, Weißkalke — namentlich bei Vorhandensein von im Durchschnitt 3—4 v. H. Tonerde und Kieselsäure oder einer anhaftenden, entsprechenden tonigen Quarzerde — enthalten sogen. „Sprengkörper", d. s. Kalktonerdsilikate, welche im Verputz zur „Blasenbildung" führen können. Das Entstehen solcher unangenehmen Körner kann durch eine beschleunigte und anhaltende Zerteilung der im Zerfall befindlichen Massen beim Ablöschen des Kalkes erheblich vermindert werden, wozu namentlich mechanische Rührwerke heranzuziehen sind [2]) — ein Vorzug des im Großbetriebe maschinell gelöschten Kalkes. Auch wirkt ein Zusatz von größeren Wassermengen zur Verdünnung und Abkühlung des Breies günstig, da sich hierbei die Sprengkörner als die schwereren Teile leicht zu Boden setzen und somit beim Einlassen des Kalkes in die Grube unschwer zurückgehalten werden können.

Die Ablöschung des Kalkes im großen, also in besonderen Kalklöschereien, ist wegen der besseren Ausführung der Arbeit dem Handbetriebe durchaus vorzuziehen [3]); hierbei wird der Kalk in Bottichen vermittelst eines Rührwerkes gelöscht und nach Beseitigung des Rückstandes durch Siebe in Kalkgruben geleitet. Von hier aus befördert eine Transportschnecke den Kalk in einen Schacht, von dem aus er nach Verdünnung mit Wasser durch eine Pumpe dem Mörtelwerke zugeführt wird. In diesem wird der Kalk mit dem meist mechanisch herangeführten, ausgesiebten Sande in besonderen Mörtelmischern vereinigt, vgl. weiter unten.

---

[1]) Vergl. das in Anm. 2 auf S. 591 angeführte Werk von Dr. Kiepenheuer, S. 31.

[2]) Genaueres siehe in dem mehrfach erwähnten Werke von Dr. Kiepenheuer, S. 37.

[3]) Vergl. hierzu das durch langjährige Praxis gestützte Urteil von Dr. Kiepenheuer in seinem Werke: Kalk und Mörtel, S. 175—176.

Ein Trockenlöschen des Weißkalkes ist nur selten üblich[1]), da die Ausgiebigkeit sich verringert.

Ein RT. frisch gebrannten Kalkes liefert bei Handarbeit 1,8—2,0, bei maschinellem Betriebe 2,0—2,2 RT. gelöschten Kalk, d. h. 10000 kg CaO ergeben 23—25, bzw. 25—27,5 cbm CaH_2O_2; demgemäß liefert die mechanische Ablöschung bei obiger Kalkmenge ein Mehr von 2—2,5 cbm, d. h. einen Geldgewinn von rd. 35—45 Mk.

Die Vereinigung von gelöschtem Weißkalk und Sand zu Fettkalkmörtel erfolgt i. d. R. bei Verwendung zum Mauern im Verhältnis 1 : 3—1 : 4, zum Verputz von 1 : 2—1 : 2,5. Je besser der Kalk, namentlich je vollkommener er abgelöscht ist und je intensiver die Mörtelmischung bewirkt wird, um so weniger Kalk wird benötigt, um die gleiche Mörtelfestigkeit zu erzielen[2]). Deshalb ist auch hier der maschinell erzeugte Kalkmörtel im Vorteil[3]).

Theoretisch sollte soviel gelöschter Kalk dem Sande zugesetzt werden, als Spiel-(Luft)raum zwischen den Sandkörnern vorhanden ist; der Einfachheit halber haben sich hier jedoch bestimmte Mischungsverhältnisse unter Berücksichtigung des Verwendungszweckes ausgebildet. Der Sand selbst soll verschiedenkörnig, zweckmäßig zu $^2/_3$ grob-, zu $^1/_3$ feinkörnig sein. An Wasser ist soviel zuzufügen, daß der Mörtel steif, seine Verarbeitung aber leicht ist.

Bei der Vereinigung von Kalkbrei und Sand findet eine Volumenverringerung statt. Es ergeben:

1	RT.	gebr.	Kalk	+ 2	RT.	Sand	2,4	RT.	Mörtel,
1	„	„	„	+ 2½	„	„	2,8	„	„ ,
1	„	„	„	+ 3	„	„	3,2	„	„ ,
1	„	„	„	+ 4	„	„	4,0	„	„ .

[1]) Als maschinell betriebene Kalklöscher für Trockenlöschung sind zu nennen:

1. allseitig geschlossene Mulden mit seitlichem Zuflusse von Wasser — weniger gut für Weißkalk,
2. Rotierende Kalklöschtrommeln, in Kugel- oder Zylinderform; hier erfolgt das Ablöschen unter hoher Dampfspannung (bis 8 Atm.), sodaß ein sehr gutes Ablöschen stattfindet,
3. Mischvorrichtungen, welche mit einer breiigen Kalkmasse fein gemahlenen oder körnigen Ätzkalk vereinigen, und zwar in solcher Menge, daß das im Brei vorhandene Wasser zur Löschung des CaO vollkommen benötigt wird und somit trocken gelöschter Kalk entsteht.

Weiteres vergl. im Abschnitte über hydraulische Kalke.

[2]) Für kleinere Mörtelmengen benutzt man zur maschinellen Mischung des Mörtels zylindrische, sich meist um ihre Längsachse drehende Trommeln, bei denen durch entweder an der Trommelwelle oder an der Trommelinnenseite angebrachte Zinken, Schaufeln, Vorsprünge u. dergl. die Durcharbeitung des Mischgutes erfolgt; andere Vorrichtungen beruhen auf dem Grundsatze der Tonschneider (vergl. S. 278) und zeigen eine wagerechte oder senkrechte oder schräg liegende Mischtrommel. Die Mischarbeit selbst kann durch Zinken oder Messer (z. B. System Schlickeysen-Berlin) bewirkt werden. Ferner finden Quetschwerke oder Kollergänge (vergl. S. 275) mit fester Pfanne bzw. beweglicher Pfanne und umlaufenden Walzen Verwendung, weiter trichterförmige Mischer (z. B. System Gauhe, Gockel & Co. zu Oberlahnstein), deren Mischarme nach unten zu entsprechend der Form des Mischgefäße sich verkürzen und somit der hier schwereren Rührarbeit Rechnung tragen, weiter fahrbare bzw. transportable, oben in der Regel offene Trog-Mischmaschinen (System Gauhe, System Schumacher-Köln a. Rh., J. Bodländer-Breslau u. a. m.).

[3]) Nach Mitteilung von Dr. Kiepenheuer (S. 41 seines Werkes) mischen z. B. die Berliner Mörtelwerke schlesischen Ringofenkalk mit märkischem Sande im Verhältnisse von 1 : 4¼—4½.

Es erfordert:		an gelöschtem Kalk l	an Sand cbm	an Wasser l
1 cbm Mörtel	1:2	420	0,84	170
1 „ „	1:2,5	370	0,92	184
1 „ „	1:3	330	1,00	200.

Bei fettem Kalk verwendet man zum Mauern über der Erde einen Mörtel 1:3, für Grundmauern 1:4, bei Magerkalk 1:1 bzw. 1:2, Putz an freier Luft 1:2. An Mörtel gebraucht man: für 1 cbm Quadermauerwerk 0,08 cbm, desgl. aus lagerhaften Bruchsteinen 0,3 cbm; die gleiche Menge ist erforderlich für normales Ziegelmauerwerk, 3 Stein stark, ferner für dieses bei 2 Stein Stärke 0,270 cbm, bei 1 Stein 0,250, bei 1/2 Stein 0,230 cbm. Für Fachwerkwände in Ziegeln sind notwendig für 1 qm bei einer Stärke von: 1 Stein 0,062 cbm, bei 1/2 Stein 0,025 cbm. Auch kann man damit rechnen, daß zu 1000 Steinen des Normalformats rd. 600—700 l Mörtel zum Vermauern gebraucht werden; desgl. zu 1 cbm Ziegelmauerwerk 330 l Mörtel. Für das Ausfugen benötigt man beim Rohbau für 1 qm 0,005 cbm, bei einer Fachwerkswand 0,003 cbm; für das Verputzen einer Wand ist für 1 qm und je 1 cm Putzstärke 0,015 cbm Mörtel zu rechnen. Weiter verlangt an Mörtel 1 cbm 1/2 Stein starkes Tonnengewölbe 70 l, 1 cbm gleichartiges Kreuzgewölbe 30 l, 1 qm flachseitiges Ziegelpflaster, in 12 mm starken Kalkmörtel verlegt, 17 l, desgl. mit vergossenen Fugen in Sandbettung 8 l, 1 qm hochkantiges Ziegelpflaster mit 6 mm starken Stoßfugen ohne Mörtelbett 15 l, mit einem solchen 30 l, 1 qm Fliesenpflaster 25 l, 1 m Rollschicht mit vollen Fugen 10 l, 1 qm Verblendmauerwerk aus ganzen und halben Steinen 52 l, desgleichen aus halben und viertel Steinen 40 l, 1 qm einfacher Fassadenputz mit Fugen 20—25 l, 1 qm Rapputz 13 l, 1 qm Deckenputz auf einfach gerohrter Schalung ohne Gipszusatz 20 l, mit solchem 17 l, desgl. auf doppelt gerohrter Schalung 30 l; 1000 Biberschwänze, in Kalk verlegt, benötigen 720 l, nur mit Kalk verstrichen 480 l, 1000 Dachpfannen, in Kalk verlegt, 1200 l, desgl. Hohlziegel 700 l.

Weißkalkmörtel, ein fast immer „dichter“ Mörtel[1]), bindet langsam ab und erhärtet — wenn überhaupt vollkommen[2]) — erst nach sehr langer Zeit.

Der Erhärtungsvorgang des Mörtels beginnt mit dem Anziehen dieses, d h. mit dem Verlust an Wasser durch Verdunsten oder seinen Übergang in den wasserabsaugenden Mauerstein. Das verbleibende Wasser löst einen Teil des Kalkes zu Kalkwasser, welches die einzelnen Sandkörner überzieht, begierig Kohlensäure aus der Luft aufnimmt und hiermit eine feine Haut aus kohlensaurem Kalke bildet. Je mehr dieser Vorgang von außen nach innen, entsprechend der von außen kommenden Kohlensäure, fortschreitet, um so mehr werden die einzelnen Hohlräume zwischen den Sandkörnern von $CaCO_3$ ausgefüllt, um so geringer muß die Einwirkung der Luftkohlensäure werden und um so weniger die Erhärtung des Mörtels nach innen zu fortschreiten; es kommt hinzu, daß sich das für den Erhärtungsvorgang unbedingt notwendige Wasser durch Verdunstung und Übergang in die Steine dauernd verringert und somit der Erhärtungsvorgang im Laufe der Zeit erschwert wird; namentlich nimmt trockener Mörtel keine Kohlensäure auf.

---

[1]) Vergl. S. 576.

[2]) Dr. Kiepenheuer erwähnt in seinem Werke „Kalk und Mörtel“ auf S. 42 u. flgd. mehrere Beispiele, daß Weißkalkmörtel, aus dem Innern sehr alter Bauwerke entnommen, nach Jahrhunderten noch nicht erhärtet war. Dies zeigte sich

1. bei Abbruch einer Bastion in Straßburg (hier war der 156 Jahre alte Mörtel im Innern der Mauern noch so frisch und weich, wie einige Stunden nach seiner Bereitung),
2. bei einem Pfeiler des Berliner Petriturmes und dem 100 Jahre alten Mörtel,
3. bei einer Wiener Bastei, 700 Jahre alt,
4. beim Turmbau einer gotischen Kirche aus dem Jahre 1400 usw.

Bei der Erhärtung des Mörtels spielt der Sand nur eine rein mechanische Rolle, er bedingt — neben der Vergrößerung der Festigkeit des Enderzeugnisses, der Verbilligung des Mörtels und der Verhinderung allzu großen Schwindens — hier vorwiegend die starke Porigkeit des Mörtels und das Eindringen der CO_2; es findet aber keinerlei Aufschließung seiner Kieselsäure, also etwa die Bildung kieselsauren Kalkes oder dgl. statt. Da lehmiger Sand die Poren verklebt und somit den Abbindevorgang sehr ungünstig beeinflußt, ist er bei Weißkalkmörtel nicht zu verwenden, während er, wie an anderer Stelle hervorgehoben wird, für Dolomitkalk benutzbar ist. 1 cbm an der Luft erhärteter Kalkmörtel wiegt rd. 1680 kg; sein Porenraum beträgt i. M. 20 v. H.

Die Druck- und Zugfestigkeit schwankt naturgemäß in ziemlich weiten Grenzen, je nach der Natur, Reinheit und Herstellung des verwendeten Kalkes, der Art und den Eigenschaften seiner Zuschläge[1]). Im allgemeinen wird man fordern können, daß ein guter Fettkalk-Sandmörtel 1 : 3 bis 1 : 5 nach Lufterhärtung von 7 bzw. 28 Tagen eine Druckfestigkeit von 14 bzw. 21 kg/qcm aufweist, während die Zugfestigkeit etwa den achten bis dritten Teil dieser Zahlen beträgt.

Aus großen Versuchsreihen, welche H. Burchartz im Materialprüfungsamte zu Großlichterfelde durchgeführt hat[2]), geht hervor, daß die Festigkeit der Kalkmörtel, wenigstens im Vergleiche zu anderen Mörteln, selbst den magersten Zementmörteln, sehr gering ist und zwischen weiten Grenzen liegt; es schwankt die Druckfestigkeit für 28 Tage alte Proben zwischen 2,8 und 24,6 kg/qcm und beträgt i. M. aus allen Versuchen 8,9 kg/qcm, während für die Zugfestigkeit die Zahlen 1,2 und 4,3 bzw. der Mittelwert 2,7 gefunden wurden; trennt man die Untersuchungen in Gruppen nach Art des Sandes und betrachtet man die von den Mörtelwerken eingereichten, fertigen Mörtelproben besonders, so ergibt sich für:

	Mittlere Zugfestigkeit	Mittlere Druckfestigkeit	
Normalsand[3]) . .	2,5	8,5	kg/qcm nach 28 Tagen bei Mischung 1 : 3.
Bausand	5,0	14,6	
fertigen Mörtel . .	4,6	13,8	

Von besonderer Wichtigkeit sind auch Versuche und die aus ihnen abgeleiteten Festigkeitszahlen für Mauerwerk in Kalkmörtel[4]). Nach Burchartz ergibt sich, daß die Würfelfestigkeit (an würfelförmigen, in Verband gemauerten Körpern ermittelt) bei Zugrundelegung der 28 Tage-Festigkeit bei Kalkmörtel für den Eintritt der ersten Risse rd. 30, für die Zerstörung rd. 40 v. H. der Körperfestigkeit der Steinsorte beträgt. Diese Zahlen bleiben auch für die Verhältnisse nach 115 Tagen Erhärtung vollkommen bestehen. Vergleicht man die Mauerwerksfestigkeiten aus Mauersteinen und Kalksandsteinen mit Zement- bzw. Kalksandmörtel hergestellt, so ergibt sich ein Verhältnis von 100 : 45, es zeigt sich also auch hier, wie wichtig ein guter Mörtel für die Festigkeit

[1]) Vergl. hierzu auch Mörteluntersuchungen von Prof. H. Germer. Verlag Tonindustrie-Zeitung 1910, S. 10, 55, 65, 68, 69 u. flgd.

[2]) Vergl. Luftkalke und Luftkalkmörtel, Ergebnisse von Versuchen, ausgeführt im Kgl. Material-Prüfungsamte zu Großlichterfelde, Unters. von H. Burchartz, Berlin. Verlag v. Julius Springer, 1908, S. 100 u. flgd. Hier sind von 43 verschiedenen Kalksorten die Festigkeiten in den üblichen Mischungsverhältnissen mitgeteilt.

[3]) Vergl. die Ausführungen hierüber im Abschnitte Portlandzement.

[4]) Vergl. hierzu die vorgenannten Untersuchungen von H. Burchartz, S. 128 u. flgd. Hier sind erwähnt die Versuche in oben angegebener Richtung:

1. von Böhme, 2. dem Royal Institute of British Architects, 3. von Tavernier, 4. von Camillo Guidi, 5. vom Lichterfelder Prüfungsamte.

eines Mauerwerkskörpers ist; durch einen solchen kann z. T. der Einfluß weniger guter Steine ausgeglichen werden. Man sollte daher an Stelle des reinen Fettkalkmörtels bei wichtigen Bauten bessere Mörtel — zweckmäßig hydraulischen Kalkmörtel bzw. verlängerten Zementmörtel verwenden[1]).

Die Haftfestigkeit reinen Kalkmörtels ist sehr gering; sie beträgt nach den Burchartzschen Versuchen nach 28tägiger Erhärtung 0,8, nach 90 Tagen 1,2 kg/qcm.

Ebenso tief liegt die Scherfestigkeit; sie beträgt in den angegebenen Zeitabschnitten 1,0 bzw. 1,4 kg/qcm[2]).

Ein Zusatz von Magermilch zum Kalksandmörtel wirkt vielfach in der Art günstig, daß die Eiweißteile der Milch mit dem Ätzkalk eine innige Verbindung eingehen und den Mörtel schneller und besser zur Erhärtung bringen. Nach Versuchen von Burchartz[3]) ist dies jedoch nur insofern richtig, als Festigkeit und Tragfähigkeit von Mauerwerk durch Verwendung von Milchmörtel erhöht werden kann, vorausgesetzt, daß zum Anmachen nur (reine) Milch benutzt wird.

b) Graukalk[4]).

Der Graukalk führt, da er durch Brennen aus dem Dolomit gewonnen wird, auch die Namen Magnesia- oder Dolomitkalk. Der in der Natur vorkommende Dolomit besteht i. d. R. nicht aus reinem Dolomitspat ($CaCO_3 + MgCO_3$), sondern zeigt meist einen Zusatz von Kieselsäure (wenig), Eisenoxyd und Ton. Ist der Ton- usw.-Gehalt gering (1—2 %), so bezeichnet man die Kalke zweckmäßig als Normal-Graukalke; in erheblicherem Maße auftretende Tone werden dem Kalk geringe hydraulische Eigenschaften verleihen, ohne daß aber ein hydraulischer Kalk aus ihm wird. Solche Kalke führen auch, da sie ein mageres Löschergebnis liefern, den Namen „Magerkalk".

Die Farbe der Magnesiakalke ist vorwiegend grau bis schmutzigviolett; daneben kommen aber auch vollkommen weiße, braune und schwarzblaue Gesteine vor.

Im allgemeinen ist die Behandlung des Graukalkes eine gleiche wie die des Weißkalkes; nur liegt die Temperatur, bei der er erbrannt wird, tiefer als die für Fettkalk[5]); auch ist Graukalk bei Luftlagerung nicht so empfindlich gegenüber der Aufnahme von Wasser und CO_2 wie Weißkalk. Wenn hierdurch auch die Ergiebigkeit beim Ablöschen etwas abnimmt, so leidet doch die Qualität des Mörtels nur unerheblich. Das Löschen findet — gleichwie bei Weißkalk — vielfach in der Pfanne zu Brei, erheblich mehr aber zu trockenem Kalke statt.

Beim Ablöschen in der Pfanne wird zunächst weniger Wasser als beim Fettkalk zugesetzt, da bei Graukalk die Gefahr eines Verbrennens nicht vorliegt; es bildet sich hierbei ein sehr fest zusammenhängender, zäher Brei, der ein besonders langes und inniges Durcharbeiten verlangt, und zwar unter allmählichem Zusatze des notwendigen Wassers; hierbei ist auch auf die möglichste Beseitigung der „Sprengkörner" besonders zu achten. Bei nur geringem Gehalte an Kieselsäure und Ton entsteht ein sehr fetter, grauer,

---

[1]) Vergl. die Untersuchungen von Burchartz, S. 158. Hier ist als Beispiel erwähnt, daß ein Mauerwerk aus Steinen von 200 kg/qcm in Fettkalkmörtel gemauert nur 65 kg/qcm Druckfestigkeit, in Zementmörtel jedoch 145 kg/qcm aufweist.

[2]) Vergl. Burchartz: Luftkalke und Luftkalkmörtel, S. 165.

[3]) Vergl. seine Untersuchungen S. 185.

[4]) Ausführlicheres siehe in dem Werke von Dr. Kiepenheuer: Kalk u. Mörtel unter IV, S. 49—70.

[5]) Nach Versuchen der Sektion Kalk des deutschen Vereins für Ton-, Zement- und Kalkindustrie liegt die niedrigste Temperatur, bei der Dolomite gebrannt werden können, etwa bei 950—1000° C, d. h. bei Segerkegel 0,7—0,8.

geschmeidiger, aber sehr langsam steif werdender Brei[1]), der sich zwar mehrere Monate unverändert hält, nach etwa 1 Jahr aber so fest und zusammenhängend wie Ton wird. Ein derartiger, eingetrockneter Kalk verändert sein Volumen nicht, wird hart und schwer, erhält auch keine Risse wie Weißkalk. Er erhärtet an der Luft gut, läßt sich sogar wie Gips in Formen gießen. Auch hier beruht der Abbindevorgang — wie bei Weißkalk — wahrscheinlich nur auf der Bildung kohlensauren Kalkes, während die Magnesia als Hydrat unberührt bleibt[2]).

1 RT. Stück-Graukalk ergibt bei Handlöschung 1,5—1,7 RT. Brei, bei Maschinenbetrieb 1,8 RT.; es ist also die Ergiebigkeit hier erheblich geringer als wie beim Weißkalk, ein Nachteil, der aber dadurch wieder ausgeglichen wird, daß man hier mehr Sand zusetzen kann, und zwar gut 4—5 Teile (gegenüber 3 beim Weißkalk).

Bei der Ablöschung des Graukalkes zu Pulverform wird vielfach eine rd. 30 cm hohe Schicht von gebrannten Kalksteinen mit hinreichendem Wasser begossen, dann eine zweite gleichartige Lage — wiederum unter Zuführung von Wasser — aufgesetzt, hierauf eine dritte, endlich eine vierte nebst Wasser hinzugefügt. Der so gebildete Haufen wird zur Zurückhaltung der Löschhitze in seinem Innern und zur Fernhaltung störender Einflüsse von außen mit einer etwa 20 cm starken Sandschicht abgedeckt und sich selbst (während etwa 12 Stunden) überlassen; auch kann man Körbe aus Weidengeflecht oder Eisendraht oder durchlöcherte Eisenbehälter beliebiger Bauart, mit Stückkalk gefüllt, so lange unter Wasser bringen, bis keine Luftblasen mehr nach oben entweichen, der Kalk also vollkommen mit Wasser gesättigt ist, — ein Verfahren, das namentlich auch im Großbetriebe eingeführt ist. Der aus dem Korbe geschüttete Kalk wird dann meist wieder in Haufenform gebracht und — um vollkommen abzulöschen — mit einer etwa 5 cm starken Sandschicht bedeckt. Soll der Kalk zum Putz verwendet werden, so empfiehlt es sich, diesen Selbstlöschprozeß auf 3 Tage auszudehnen.

Die Ausgiebigkeit des in Pulverform gelöschten Graukalkes ist eine gute, da 1 RT. Kalkstücke 3—3,33 RT. Pulver liefert, welche einem porenfreien Volumen von 2—2,25 Teilen entsprechen; mit Wasser angemacht, ergibt sich ein steifer Brei von rd. $^3/_4$ Volumen des Kalkpulvers, es liefert also auch auf diesem Wege — ebenso wie vorher — 1 RT. Stückkalk 1,5—1,7 RT. Grubenkalk[3]). Soll der trocken gelöschte Kalk zu Verputzarbeiten verwendet werden, so ist ein Sieben des gedämpften Kalkes bzw. des aus ihm gewonnenen Mörtels durchaus am Platze. Auch ist eine besonders gute Durcharbeitung vor Zusatz des Sandes zum Mörtel empfehlenswert, um alle Knötchen im Brei zu lösen; denselben Zweck verfolgt auch ein längeres Stehenlassen des Breies oder Mörtels bis zu 12 Stunden Dauer. In neuester Zeit wird der abgedämpfte Graukalk auch — wie das bei den hydraulischen Kalken heute die Regel bildet — staubfrei gemahlen; alsdann gestattet er eine Vermengung mit 5—6 T. Sand im Mörtel und eignet sich besonders zu Putzarbeiten.

Auch der normale Graukalkmörtel braucht längere Zeit zur Erhärtung. Von Natur selbst nicht hydraulisch, können ihm naturgemäß zur schnelleren Erhärtung be-

---

[1]) Gelöschter, nicht zu alter Graukalk, wird unter Umständen beim Transport stark flüssig; doch hat dies nichts zu bedeuten, da er später wieder in der Ruhe seine frühere Steifigkeit erlangt.

[2]) Es ergibt sich dies auch aus Analysen erhärteten Graukalkgusses, vergl. Dr. Kiepenheuer, S. 55.

[3]) Die Ergebniszahlen (nach Dr. Kiepenheuer) beziehen sich auf Berg.-Gladbacher Graukalke; gleiche Ergebnisse zeigen noch viele andere Kalke; nur wenige dürften eine größere Ergiebigkeit aufweisen.

sondere Zusätze, Traß, Zement, gegeben werden; solche Zusätze empfehlen sich namentlich bei sehr feuchter Witterung, schnellem Hochtreiben des Baues und bei Grundmauerwerk. Aber auch ohne diese Mittel erhärtet der Normal-Graukalk im Laufe der Zeit nach einigen Monaten recht gut zu einem sehr festen, hoch wetterbeständigen Endprodukt, wobei ein Treiben fast ausgeschlossen ist.

Die etwas erhöhte Beimengungen von Kieselsäure und Ton aufweisenden Dolomitkalke mit gering hydraulischer Wirkung erhärten etwas schneller und erlangen meist hohe Festigkeit, selbst unter Verwendung eines hier nicht so schädlichen lehmhaltigen Sandes; eigentliche hydraulische Kalke sind aber auch sie nicht. Von solchen ist zu verlangen, daß sie nach 3tägiger Erhärtung an der Luft unter Wasser weiter erhärten und hier fester werden wie an der Luft.

Nach Dr. Kiepenheuer[1]) ergab der rheinische Normal-Graukalkmörtel aus pulverförmigem Kalk und Normalsand gemengt und an der Luft erhärtet die folgenden Festigkeiten:

Mischung	Zugfestigkeit nach 28 Tagen	60 Tagen	90 Tagen	Druckfestigkeit nach 28 Tagen	60 Tagen	90 Tagen	
1:1	4,9	5,5	5,5	16,0	21,3	25,8	kg/qcm
1:2	4,2	4,5	4,5	12,2	14,9	15,9	
1:3	1,8	1,5	2,0	5,6	—	7,1	

d. h. die Festigkeiten sind mittlere.

Läßt man derartige Mörtel etwa 7 Tage an der Luft, alsdann unter Wasser erhärten, so nimmt ihre Festigkeit in erheblich geringerem Maße zu[2]), die Mörtel sind eben nicht hydraulisch.

Vom Trierer Kalk (1:2), der etwas höheren Gehalt an Kieselsäure und Ton als der Normal-Graukalk zeigt, gibt Dr. Kiepenheuer an:

Zugfestigkeit { nach 28 Tagen 3,8 / „ 90 „ 5,4 } kg/qcm

Druckfestigkeit { nach 28 Tagen 14,8 / „ 90 „ 19,8 } kg/qcm.

Hingegen zeigte der Dolomitkalk von Stolberg (im Rheinland) (1:3) in obiger Reihenfolge die Festigkeiten von:

7,1, 10,5, 30,2 und 52,0 kg/qcm.

Über die Prüfung von Kalkmörtel, deren Hauptgesichtspunkte und Ergebnisse bei den einzelnen Abschnitten mitgeteilt wurden, vgl. u. a. die Unter-

[1]) Vergl. sein Werk: Kalk und Mörtel, S. 67.

[2]) Es ergab z. B. die obige Mischung 1:2 nach 7tägiger Luft- und darauf folgender Wassererhärtung in den Zeiten der voranstehenden Tabelle eine Zugfestigkeit von:

2,7, 2,6, 2,9 kg/qcm

und eine Druckfestigkeit von:

2,8, 3,0, 4,0 kg/qcm.

suchungen von Burchartz[1]) und das Handbuch des Materialprüfungswesens von Wawrziniok[2]).

Bei Ausschreibungsbedingungen für die Lieferung von Kalkmörtel ist zu fordern, daß:

Der Sand frei von lehmigen, erdigen, salzigen, vegetabilischen Stoffen ist; in einem Glase mit Wasser soll er nur geringe Trübungen verursachen. Die durch Sieben zu bestimmende Korngröße darf bei Quaderbauten höchstens 3 mm, bei Ziegelbauten 5 mm betragen; der Sand soll aber zudem auch zur Füllung der Zwischenräume feineres Material enthalten. Für Putzausführungen kann die Korngröße bis auf 1 mm herabgehen. Der Sand soll sich scharf anfühlen, in der Hand knirschen und sich nicht zusammenballen. Zu grobes Material ist zu sieben, ungeeignetes in bestimmter Zeit durch neues zu ersetzen.

Der Fettkalk ist möglichst frisch und unzerfallen zur Baustelle zu bringen und sorgfältig abzulöschen. Bis zum Ablöschen ist der Kalk sorgfältig vor Nässe zu schützen und unter Dach aufzubewahren. Sind nach dem Abdämpfen noch Körner im Kalk, so sind diese durch ein 900 Maschensieb zu beseitigen. Dies gilt namentlich für Putzarbeiten, da der Unternehmer für alle, durch solche Unterlassungen am Putz entstehende Schäden verantwortlich gemacht wird.

Vor Verwendung ist der Fettkalk mindestens 14 Tage hindurch einzusumpfen; die Kalkgruben sind abends sicher abzudecken. Gegen starkes Austrocknen ist der Kalk durch Sandbewurf zu sichern.

Seine genügende Breiigkeit ist daraus zu erkennen, daß ein normaler Ziegelstein nur langsam einsinkt.

Die Abnahme erfolgt gelöscht in Gruben nach cbm. Gebrannter Staubkalk wird in Tonnen zu 220 l gehandelt; 1000 kg gebrannter Kalk sollen etwa 2,5—2,6 cbm gelöschten Kalkes ergeben.

In manchen Fällen ist es erwünscht, daß der Mörtel schneller erhärtet. Er erhält alsdann Zuschläge, die dies bewirken, i. d. R. hydraulischer Art. Als untergeordnet kommen hier in Frage fein gemahlener Ziegelstein[3]), auch gemahlene Hochofenschlacke, vorwiegend aber Traß und Portlandzement. Während über die Mischung mit Traß im § 98 ausführlich gesprochen wird, seien hier nur die Kalkzementmörtel, auch verlängerte Zementmörtel genannt, erwähnt. Sie sind erheblich besser als die mageren Zementmörtel mit 5 und mehr Teilen Sand, weil letztere zwar

[1]) Luftkalke und Luftkalkmörtel, Ergebnisse von Versuchen, ausgeführt im Kgl. Materialprüfungsamt zu Gr.-Lichterfelde.West v. H. Burchartz. Julius Springer 1908. Die Hauptabschnitte dieses Werkes behandeln:

I. Luftkalke und Luftkalkmörtel und ihre Eigenschaften; Begriffserklärung, Eigenschaften; Einfluß der Art der Zuschlagsstoffe auf die Erhärtung, desgl. des Anmachewassers, der Höhe des Sandzusatzes, des Verdichtungsgrades, der Art der Erhärtung auf die Festigkeit von Luftkalkmörtel.

II. Kalkmörtel und Mauerwerk von Kalkmörtel; Festigkeit der Luftkalkmörtel, Einfluß der Beschaffenheit des Fugenmaterials auf Mauerkörper, Festigkeit von Mauerwerk in Kalk- und Zementmörtel, Haft- und Scherfestigkeit von Kalk- und Zementmörtel usw.

III. Einfluß des Zusatzes von Magermilch bei Kalksandmörtel und die Erhärtung von verlängerten Zementmörteln und anderen Mörteln bei Luftabschluß.

[2]) 1908, Verlag von Julius Springer, S. 348—395 und 395—408, Die Prüfung der Bindemittel und Luftkalke.

[3]) Hier werden als Mischungsverhältnisse angegeben:

1 Fettkalk + 2 Ziegelmehl, + 1 Sand oder

1 Fettkalk und 2 Magerkalk + 1 Ziegelmehl (also ohne Sandzusatz) oder

3 Fettkalk, 2 Ziegelmehl, 5 Sand.

eine ausreichende Festigkeit noch besitzen, auch billig sind, aber zu mager ausfallen und deshalb schlecht am Stein haften. Bei Herstellung der Mörtel wird der Zement mit dem trockenen Sand zunächst vermengt und diese Mischung alsdann durch gutes Durcharbeiten mit dem Kalkbrei zu einem gleichmäßigen Mörtel vereinigt. Nur bei trocken gelöschtem Graukalk[1]) findet eine Vermischung zugleich von Zement, Kalk und Sand statt, dem später das Wasser zugesetzt wird. Der Kalkzementmörtel zeichnet sich aus 1. durch rasche und sichere Erhärtungsfähigkeit, da er bereits nach wenigen Tagen fest ist und dauernd an Festigkeit zunimmt, 2. durch starke hydraulische Eigenschaften, die sich in seinem guten Widerstande gegen Wasser nach wenigen Stunden bereits kundgeben, 3. durch seine Verwendung als vorzüglicher Luftmörtel von hoher Festigkeit und großer Dichte, 4. durch die Möglichkeit, ihn noch anzuwenden, wenn Frost zu befürchten steht, 5. durch eine besonders hohe Elastizität.

Wie R. Dyckerhoff nachgewiesen hat[2]), verbessert ein Kalkzusatz hinsichtlich ihrer Festigkeit und Haftung am Stein die mageren Zementmörtel bis zu einer bestimmten Grenze, die mit dem Maximum der erreichbaren Dichte des Mörtels zusammenfällt. Als zweckmäßige Mischungsverhältnisse haben sich herausgestellt:

1. 1 Zement : 5 Sand zu 1/2 Teil Kalkteig oder pulv. Kalk
2. a) 1 „ : 6 „ „ 1 „ „ „ „ „ „
   b) 1 „ : 7 „ „ 1 „ „ „ „ „ „
3. 1 „ : 8 „ „ 1 1/2 „ „ „ „ „ „
4. 1 „ : 10 „ „ 2 „ „ „ „ „ „

} Raumteile (hl).

Der Wasserzusatz beträgt hierfür:

1. 1,3, 2. 1,35 bzw. 1,60, 3. 1,60, 4. 1,70; als Ausbeute an Mörtel ergibt sich: 1. 4,90, 2. 6,00 bzw. 6,80, 3. 7,80, 4. 9,45.

1 cbm Mörtel erfordert:

Mischung	Zement kg	Sand Liter	Kalk Liter	Wasser Liter
1	286	1020	102	265
2 a	233	1000	167	225
2 b	206	1029	167	235
3	182	1040	195	205
4	148	1055	212	180

Die Dichtigkeiten sind: 1,14, 1,45, 1,11, 1,12 und 0,8.

Die Druckfestigkeiten betragen nach Erhärtung von 1 Tag an der Luft und 6 Tagen unter Wasser: 170, 200, 180, 130, 110 kg/qcm. Für die Zugfestigkeit kann etwa 1/10 dieses Wertes gerechnet werden[3]).

[1]) Zur Umrechnung diene die Angabe, daß 1 hl Kalkteig rd 63 kg trockenes Kalkhydrat enthält, welches Gewicht nahezu auch 1 hl zu Pulver gelöschter Kalk hat.

[2]) Vergleiche Protokoll des Vereins Deutscher Zementfabrikanten 1879. S. 44.

[3]) Weiteres über Kalkzementmörtel siehe in: Mörteluntersuchungen von Prof. H. Germer. Verlag der Tonindustrie-Ztg. 1910. S. 44 u. flgd. Hier ist behandelt: Einflüsse auf die Erhärtung S. 44, Materialverbrauch S. 52. Kosten S. 53, Festigkeit in den Mauerfugen S. 59, Zugfestigkeit S. 61, Scherfestigkeit S. 63, Haftung S. 65.

An Stelle von Kalkteig zu Pulver gelöschten Kalk[1]) zu verwenden, ist namentlich bei den hohen Sandzusätzen zweckmäßig, weil hier der Kalkteig in dem nur erdfeuchten Mörtel schwer gleichmäßig zu verteilen ist.

§ 94. Hydraulische Kalke (Wasserkalke) und verwandte Bindemittel.

Hydraulische Kalke sind Erzeugnisse, welche aus Kalkmergeln und Kieselkalken durch Brennen unterhalb der Sintergrenze, darauffolgende Hydratisierung und i. d. R. Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit gewonnen sind; daneben können Wasserkalke auch in Stückform in den Handel gebracht werden. Nach den Beschlüssen der internationalen Konferenz zur Prüfung der Baumaterialien werden unter hydraulischen Kalken solche verstanden, „welche durch Brennen von mehr oder weniger ton-(oder kieselsäure-) haltigen Kalken gewonnen werden und, mit Wasser gemengt, sich ganz oder teilweise zu Pulver löschen". Es liefern demgemäß die vorgenannten Kalksteinarten, wenn sie vor Eintritt der Verschlackung ihrer Oberfläche gar brennen und beim Trockenlöschen teilweise oder ganz zu Pulver zerfallen, hydraulische Kalke. Sowohl die Wärmeentwickelung wie das Gedeihen beim Löschvorgange sind mäßig. Der Gehalt des gebrannten Kalkes an Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxyd beträgt etwa 10—30 v. H.; naturgemäß liefern die Kieselkalke einen besonders kieselsäurereichen und tonerdearmen Wasserkalk. Hydraulischer Kalk bindet stets langsam, oft erst nach Abflauf von 24 Stunden und mehr ab, besitzt aber die Eigenschaft, von da an unter Wasser mit wachsender Festigkeit zu erhärten, und zwar i. d. R. schneller und besser als an der Luft. Sein spezifisches Gewicht liegt meist unter 2,9. In bezug auf ihre Verarbeitungsweise unterscheidet man starkhydraulische Kalke, die 2 Tage nach dem Anmachen unter Wasser gebracht werden können, mittelhydraulische, die 5, schwachhydraulische, die 7 Tage zunächst an der Luft erhärten müssen.

Das Brennen des hydraulischen Kalkes kann mit Hilfe der in § 93 beschriebenen periodischen oder kontinuierlichen Öfen erfolgen[2]). Im allgemeinen wird man für Kalkstein in größeren Stücken, der diese Form auch im Brande bewahrt, die meisten Arten der kontinuierlichen Schacht- oder Ringöfen verwenden, während für kleine Kalkstückchen kleine Schachtöfen mit ausreichendem Luftzuge und eingebautem Rost (vgl. S. 589) zu bevorzugen sind. Soll Mergelerde mit einem erheblichen Feuchtigkeitsgehalte gebrannt werden, so hat man schon seine Zuflucht dazu genommen, den Mergel einzusumpfen, aus ihm Ziegel zu pressen und ihn in dieser Form dem normalen Brennofen zu übergeben, oder die Mergelerde über den in Brand befindlichen Stückkalk zu streuen. Auch sind für den vorliegenden Zweck Ofenformen empfohlen wie sie zum Rösten von Erzen u. dgl. bewährt sind[3]).

Allgemein dürfte sich auch die Einführung des in der Zementindustrie bestens bewährten Drehofens zum Kalkbrennen in Zukunft empfehlen, um so mehr als trotz der

[1]) Hier ist naturgemäß darauf zu achten, daß der Kalk sehr sorgfältig gelöscht und gesiebt bzw. gemahlen ist, damit keinerlei Sprengkörner den im Erhärten begriffenen Mörtel zerstören können.

[2]) Vergleiche hierzu die Werke von Dr. Kiepenheuer, Kalk und Mörtel und Wasserkalk, sowie Franz Rauls, Ingenieur für Kalkwerkanlagen, Köln: Untersuchungen über industrielle Feuerungsanlagen, Öfen und Schornsteine, und den von Rauls am 9. XII. 1909 in Wien gehaltenen Vortrag: Kleinste und grösste Ringöfen der Welt, sowie moderne Garbrennöfen für Kalk.

[3]) Genaueres siehe in Dr. Kiepenheuer: Der Wasserkalk S. 19. Bonn 1911. Verlag der Universitätsdruckerei von C. Georgi.

bei Wasserkalken notwendigen Temperaturen von nur 900—1000° C zum Heraustreiben der CO_2 der Betrieb auch durchaus wirtschaftlich eingerichtet werden kann, wie das DRP. 207881 zeigt. Hier wird unter höchster Ausnützung des Brennstoffes, die Innehaltung der gewünschten Hitze dadurch gesichert, daß im Drehofen ein Parallelstrom angewendet wird, d. h. dadurch, daß Feuergase und Kalksteine in gleicher Richtung durch den Ofen gehen[1]).

Im allgemeinen soll der Brand des Wasserkalkes ein langer und milder sein, namentlich für die Arten, welche in Stückform in den Handel kommen, also keine Mahlung oder Siebung mehr erfahren; nur dort, wo die in Säuren unlöslichen Bestandteile vorwiegend durch Ton gebildet werden, kann der Brand schärfer und kurz sein. Der chemische Vorgang beim Brennen der Mergel besteht sowohl in einer Austreibung von Kohlensäure aus den kalkigen Bestandteilen als auch in einem Aufschließen solcher Stoffe, die, im Wasser selbst unlöslich, hierin erhärten; hier kommt namentlich die Umwandlung der als Quarz unwirksamen Kieselsäure in eine aktive hydraulische Kieselsäure in Frage; auch Tonerde und Eisenoxyd erhalten einen hydraulischen Charakter und bilden somit gemeinsam mit der aufgeschlossenen Kieselsäure die sogenannten, die spätere Erhärtung des Mörtels bei Vorhandensein ausreichender Wassermengen bedingenden „Hydraulefaktoren“.

Die Farbe des gebrannten Wasserkalkes ist i. d. R. grau, grüngelb oder gelblichbraun, nur dolomitische Mergel zeigen dunklere Farben.

Der Wasserkalk kommt — wie bereits kurz erwähnt wurde — in Stückform oder gemahlen in den Handel. Für das Ablöschen in Stückform geben i. d. R. die einzelnen Kalkwerke bestimmte Ablöschvorschriften für ihre Kalke, denen nachzufolgen sich dringend empfiehlt.

Das Löschen in Stückform unterscheidet sich im allgemeinen nicht von der entsprechenden Arbeit beim Weißkalk. In der Regel zerfällt bis zum Verlaufe einer Viertelstunde der Kalk unter Wärme- und Dampfentwickelung, die allerdings nicht so hoch ist wie beim Weißkalke, in ein weiches oder sandartiges Pulver von grauer oder gelblicher Farbe. Oft wird vor Überbrausen des Kalkes ein Zerschlagen der größeren Stücke empfohlen, um das Wasser besser in den Kalk eindringen zu lassen. Es liegt in der Natur des hydraulischen Kalkes, daß ihm nur soviel Wasser (rd. 34 v. H.) zugesetzt werden darf, um ihn zum Zerfallen zu bringen, da überflüssiges Wasser den oft vor seiner Verwendung lange lagernden Kalk zum Selbsterhärten bringen würde, abgesehen davon, daß hierbei auch das Ablöschen mit Klumpenbildung verbunden wäre. Die Löscharbeit kann in Pfannen oder — besser, wegen des vollkommeneren Hydratisierens — unter Vermittlung von Körben vorgenommen werden. Meist überläßt man den in Pfannen gelöschten Kalk nach dem erstmaligen Begießen sich selbst während etwa einer Stunde, überbraust ihn dann nochmals, arbeitet ihn durch bzw. läßt ihn weitere 1—2 Stunden stehen; aldann ist er verarbeitungsfähig. Der in Körben gelöschte Kalk wird genau in der auf Seite 597 beschriebenen Weise behandelt. Nach Überdeckung mit einer Sandschicht läßt man ihn 24 Stunden hindurch „kochen“, wobei er etwa auf das Doppelte seines Anfangsinhaltes gedeiht und zu mehlfeinem Pulver zerfällt.

Bei besseren Stückkalken mischt man den Mörtel im Verhältnis 1 : 2 bis 1 : 3 und erlangt etwa 1,75 bzw. 2,5 Teile Mörtel. Nach Versuchen des Berliner Material-Prüfungsamtes ergeben die Stückwasserkalke 1 : 3 nach 3tägiger Luft- und 25tägiger Wasserlagerung eine Zugfestigkeit von rd. 6,5, Druckfestigkeiten von 12—33 kg/qcm[2]).

[1]) Genaueres siehe in dem vorstehend in Anm. 3 (S. 601) erwähnten Werk, S. 24 und 25.

[2]) Vergleiche die Mitteilungen des Prüfungsamtes Heft IV, 1894 und Heft VI, 1902.

Der hydraulische Kalk, in Pulverform in den Handel kommend, ist i. d. R. vorher abgedämpft, aldann gemahlen und gesiebt; daneben findet sich auch ungedämpfter gemahlener hydraulischer Kalk.

Das erstere Erzeugnis, das Normalprodukt, ist nicht so eng an das Rohmaterial — namentlich in Hinsicht auf geringeren Gehalt an Ton — gebunden, wie der Stückkalk. Oft wird für den gemahlenen Kalk der Kalkstein „gattiert", d. h. zur Erzielung eines dauernd gleichmäßigen Produktes, tonreiches und tonarmes Gestein bei der Ofenbeschickung gemengt; auch ist die Brenntemperatur höher als wie beim Stückkalk, um eine für die spätere Erhärtung wichtige, möglichst vollkommene Aufschließung des Tons zu bewirken.

Das Ablöschen erfolgt zunächst nur unvollkommen, d. h. zunächst wird der gebrannte Kalk noch nicht vollkommen in Hydrat umgewandelt; zu diesem Zwecke wird etwa 6—8 v. H. weniger Wasser zugesetzt als theoretisch zur Umwandlung in Kalkhydrat notwenig ist. Der meist in Transportwagen überbrauste Kalk gelangt dann in große Silos, in denen er während mehrerer Wochen einen Selbstlöschprozeß — ein Löschen durch den entstehenden Wasserdampf — durchmacht, um später nicht zu treiben. Es hat diese Art der Ablöschung ihren Grund darin, daß ein leicht eintretendes Zuviel an Ablöschwasser den Kalk klumpig macht und hierdurch die Fabrikation — namentlich das Sieben — sehr erschwert wird.

Dem Selbstlöschprozeß folgt das Mahlen[1]) und Sieben[2]) des Kalkes, ferner sein Abwiegen und Verpacken in Säcken; alsdann geht der Sack- oder Feinkalk in den Handel.

Bei der Verarbeitung des gemahlenen, hydraulischen Kalkes zu Mörtel ist Vorsicht geboten, weil je feiner die Mahlung ist, um so schneller auch der Mörtel gebrauchsfertig wird; auch hier werden wie beim Stückkalk vielfach von den einzelnen Fabriken besondere, beachtungswerte, Vorschriften für die Art des Ablöschens gegeben. Meist empfiehlt es sich, das Kalkpulver mit der in Aussicht genommenen Sandmenge (oder einem Teil dieser) trocken zu vermengen und alsdann erst Wasser zuzusetzen. Den gut durchgearbeiteten Brei läßt man dann einige Zeit ruhen (oft stundenlang), um etwa noch nicht vollkommen gelöste Kalkteilchen zum Ablöschen zu bringen. Hat man zuerst einen Teil des Sandes zugefügt, so setzt man jetzt den Rest hinzu, arbeitet das Ganze nochmals gut durch und hat nunmehr einen gebrauchsfähigen Mörtel.

Für Putzzwecke ist auch ein 24stündiges Einsumpfen des gemahlenen Kalkes von einzelnen Werken empfohlen.

Neben dem gedämpften, gemahlenen Wasserkalk kommt auch solcher in ungedämpftem Zustande in den Handel (oft ein Übergang zu Roman-Zementen), d. h. sehr fein gemahlener und gesiebter, am besten durch den Windsichter gegangener, gebrannter hydraulischer Kalk. Die Mahlung muß deshalb eine äußerst feine sein, weil hier der noch nicht gelöschte Staubkalk erst während der Mörtelbereitung zum Ablöschen kommt — gleichwie der Zement. Bei der Mörtelherstellung wird zunächst der trockene Kalk mit dem gesiebten Sande vermengt und alsdann Wasser, bis der Mörtel dünnbreiig ist, hinzugefügt. Auch hier ist es in vielen Fällen ratsam — besonders bei dolomitischem Wasserkalke — den Mörtel 12—24 Stunden ruhen zu lassen und ihn dann nochmals gut durchzuarbeiten.

---

[1]) Verwendung zum Mahlen des Kalkes finden u. a. als Spezialmaschinen: Riegelmühlen mit Windseparator (System Gebr. Pfeiffer-Kaiserslautern), die Orionmühle mit Windsichtung (System Ruhr und Alpine Maschinenfabrik in Augsburg.)

[2]) Die Siebe haben 340—900 Maschen auf 1 qcm.

Bei der Mörtelherstellung mit Hilfe von Staubkalk rechnet man bei guten Marken auf 1 cbm Sand etwa 3—5 Sack, d. h. 150 bis 250 kg oder 225 bis 375 l; es entspricht dies einem Mischungsverhältnisse von 1 : 4,5 bis 1 : 2,75.

Je feiner der Sackkalk gemahlen, um so größer ist im allgemeinen auch sein Vermögen, Sand bei bestimmmter Endfestigkeit des Mörtels aufzunehmen[1]).

Für Mischung mit Normalsand 1 : 3 bewegt sich die Zug- und Druckfestigkeit der Wasserkalkmörtel, entsprechend ihrer Natur in ziemlich weiten Grenzen; als Mittel-

[1]) Dr. Kiepenheuer teilt in seinem Werke: Der Wasserkalk, die nachfolgenden Mischungsverhältnisse einzelner Wasserkalkwerke mit. Die hier angeführten Kalke sind hochhydraulische Kalke, den Romanzementen nahestehend:

Werk	Mischungsverhältnis für		
	Mauerwerk	Innenputz	Außenputz
Geseker Kalk-Werke (Monopol-Kalk)	1 : 5 — 1 : 7	1 : 5	1 : 3 — 1 : 4
Bürener Werk (Gloria-Kalk)	1 : 6 und höher	—	—
Fördersteder Kalk (Schenk & Vogel, Magdeburg)	1 : 7 — 1 : 9	1 : 6 — 1 : 7	1 : 5 — 1 : 6
Braunsdorfer-Kalk-Werk (Dolomit-Zement-Kalk)	1 : 7 — 1 : 9	1 : 6 — 1 : 7	1 : 5 — 1 : 6
Geseker Kalk-Werke A.-G. (Meteor extra)	1 : 7 — 1 : 10	1 : 5 — 1 : 7	1 : 3 — 1 : 5
Braunschweiger Portland-Zement-Werke Salder	1 : 5 — 1 : 7	1 : 2 — 1 : 3	1 : 2 — 1 : 3

Auch sei anschließend die ebenfalls von Dr. Kiepenheuer mitgeteilte, gut verwendbare Tabelle über die Ausbeute für Mauermörtel mit Meteorkalk der A.-G. Meteor zu Geseke mitgeteilt:

Mischungsverhältnis		1 cbm Mauermörtel erfordert			1 Sack = 50 kg Meteorkalk erfordert an	Ausbeute in Prozenten
RT.	Gew.-T.	Meteorkalk kg	Sand l	Wasser l	Sand l	
1 : 1,5	: 2,5	455	855	315	100	70
1 : 2	: 3,5	370	925	310	130	72
1 : 2,5	: 4,5	317	990	305	160	72
1 : 3	: 5,5	265	1000	300	190	75
1 : 4	: 7,0	211	1050	295	250	76
1 : 5	: 8,5	174	1080	290	360	77
1 : 6	: 10,0	147	1100	288	370	78
1 : 7	: 12,0	128	1120	285	430	78
1 : 8	: 14,0	115	1130	281	490	79
1 : 9	: 16,0	101	1140	278	560	79
1 : 10	: 18,0	92	1150	275	630	79

werte, die aber in den einzelnen Fällen nachzuprüfen sind, können bei den **hoch**hydraulischen, den Romanzementen nahestehenden Kalken angenommen werden:

Erhärtungszeit.

28 Tage				90 Tage			
Wasserlagerung		Luftlagerung		Wasserlagerung		Luftlagerung	
Druck-	Zug-	Druck-	Zug-	Druck-	Zug-	Druck-	Zug-Festigkeit
150	20	160	22	bis 230	bis 40	bis 260	bis 40 kg/qcm.

Für gewöhnliche, schwach hydraulische Wasserkalke stehen die Werte erheblich tiefer; hier kann man nach 28täg. Wassererhärtung für die Normenprobe 1 : 3 mit einem Mittelwerte der Zugfestigkeit von rd. 8 kg/qcm, der Druckfestigkeit von rd. 50 kg/qcm rechnen; als Höchstwerte kommen rd. 15 und 100 kg/qcm in Frage. Die Prüfung des Wasserkalkes ist im allgemeinen die gleiche wie die des Portlandzementes, sodaß auf den, letzterem gewidmeten Abschnitt hier verwiesen werden möge. Abweichungen von diesen Normen sind nur bei Feststellung der Korngröße des Kalkhydrats, des Zeitpunktes des „Anziehens“ und bei Aufbewahrung der Probekörper zu beachten.

Die Feststellung der Korngröße erfolgt durch Siebversuche, und zwar soll auf dem 900 und 4900 Maschensieb kein erheblicher Rückstand verbleiben.

Da das Anziehen vieler Wasserkalke im Mörtel längere Zeit erfordert als bei Portlandzement, so ist es notwendig, die Probekörper etwa 3 Tage an der Luft zu lagern; bringt man sie früher unter Wasser, so können sie zerfallen oder aufweichen. Den genauen Zeitpunkt, von dem an die Wasserkalkmörtel unter Wasser selbständig erhärten, findet man zweckmäßig durch probeweises Einlegen der gleichzeitig hergestellten Proben in bestimmten Zeitabschnitten in das Wasser und Feststellung des Zeitpunktes, von dem an hierbei der Probekörper unbeschädigt bleibt[1]). Im allgemeinen wird gefordert werden können, daß nach 4 Tagen Lufterhärtung die Vicatsche Nadel (siehe § 96) keinen wesentlichen Eindruck mehr auf den Probekörper macht.

Die Verwendung der schwach- und mittelhydraulischen Wasserkalke findet vorwiegend an der Luft und im Feuchten statt; nicht selten wird hier, um den Mörtel geschmeidiger zu bekommen, ein Teil Weiß- oder Graukalk zugesetzt. Hochhydraulische, den Romanzementen nahestehende Wasserkalke können überall dort Anwendung finden, wo die Kalkzementmörtel benutzt werden, d h. für Tief- und Wasserbauten, für Hochbauten aller Art, zu Putzarbeiten im Innern und außen. Im allgemeinen sind die hydraulischen Kalkmörtel dem verlängerten Zementmörtel wegen ihrer oft nicht unerheblichen Billigkeit bei etwa gleicher Leistungsfähigkeit überlegen[2]). Von den beiden im Handel vorkommenden Formen des Wasserkalkes, der Stückform und dem feingemahlenen Sackkalk, verdient letzterer den Vorzug wegen der Einfachheit der Mörtelherstellung, seiner durch bessere Aufschließung und feinste Mahlung bedingten, schnelleren und besseren Luft- und Wassererhärtung, wegen seiner größeren Sandkapazität, endlich im Hinblicke auf die fast ausgeschlossene Gefahr des Treibens.

Den Wasserkalken nahe stehen die sogenannten **Edelputz-Materialien,** welche, als Trocken- (Sack-)Mörtel in den Handel gebracht, gebrauchsfertige Fassadenputzmörtel darstellen. Als die bekannteren von ihnen sind zu nennen:

---

[1]) Genaueres über die Prüfung vergl. in: Burchartz, Hydraulische Kalke, Mitteil. des Berliner Prüfungsamtes 1902, Tetmayer, Methoden und Resultate der Prüfung hydraulischer Bindemittel, Heft 6, 1893, Feichtinger, Die chemische Technologie der Mörtelmaterialien, 1885, sowie Dr. Kiepenheuer, Wasserkalke, 1911, S. 96 u. flgd., sowie chemische Untersuchung der Wasserkalke, dort S. 40 u. flgd.

[2]) Vergl. hierzu den Vortrag von Prof. Gary vom 19. II. 1907 im Deutschen Verein für Ton-, Zement-Kalkindustrie, abgedruckt in Nr. 57 der Tonind.-Ztg. 1907.

a) Terranova der gleichnamigen Industrie zu Freihung in der Oberpfalz. Der hydraulisch abbindende Putz, in kräftigen Farben — namentlich des Ziegelsteins — gehalten, wird nur mit Wasser angemacht und ist sofort verbrauchsfähig; er ist vollkommen wetter- und raumbeständig, frei von erdigen Beimengungen oder löslichen, zu Auswitterung Veranlassung gebenden Salzen, von großer Gleichmäßigkeit und — da er die Luft hindurchläßt — auch vom hygienischen Standpunkte einwandfrei. Terranova ist geeignet für Zieh-, Antrag- und Stampfarbeiten, für ebenen Flächenputz jeder Art im Innern der Gebäude wie außen, für Quaderputz, Rauhputz u. dgl. Die Färbung wird durch Ausnutzung der kräftigen Farben des Ziegelmaterials verschiedener Sorten bewirkt, ist also eine durchaus beständige, d. h. weder dem Verblassen noch dem Verdunkeln ausgesetzt. Die Erhärtung des Putzes beruht auf kieselhaltigen, kalkigen Grundstoffen, welche nach dem Anmachen mit Wasser ein Kalksilikat bilden, also hydraulisch wirken.

Der Putz wird zweckmäßig als wasseraufsaugender rauher „Unterputz“ aus 1 RT. körniger Terranova + 1 RT. Sand oder auf je 1 RT. gut gelöschten Weiß- oder Graukalk + 3 RT. Sand und etwas Terranova (auf 1 cbm Mörtel 5 Sack) und als Oberputz hergestellt, der nur aus reiner Terranova mit Wasser besteht und auf dem vorher genäßten, etwas abgebundenen Unterputz durch zweimaliges Anwerfen in etwa 5—7 mm Stärken aufgetragen wird. Handelt es sich um eine Fassade, die unmittelbar dem Wetter ausgesetzt ist und die unter keinen Umständen vom Wetter durchfeuchtet werden darf, so empfiehlt es sich, die Unterputzschicht aus einem Ceresitisoliermörtel (vgl. § 96), etwa im Mischungsverhältnis von 1 T. Zement : 3 T. Sand, angemacht mit Ceresitmilch (1 T. C. auf 10 T. Wasser), herzustellen. Der Ceresitmörtel wird, wie jeder andere Putz mit der Latte abgezogen und zusammengerieben; seine rauhe Oberfläche gestattet leicht das Auftragen des Edelputzes[1]).

Die Ausgestaltung der Putzoberfläche kann eine ganz beliebige sein, fein und grob gestockt, gekörnt, schariert, glatt, mit Besen aufgeraut usf.

Der fertige Putz ist schönfarbig, klar in seiner Tönung, wasserabweisend[2]), luftdurchlässig, raumbeständig, schnell erhärtend, festhaftend, abbürstbar und abwaschbar, durchaus wetterbeständig und unempfindlich gegen verdünnte Säuren und Basen — er genügt mithin allen Anforderungen, welche an ein derartiges Putzmaterial zu stellen sind.

Neben der Verwendung zu Putz wird Terranova auch als poröser Estrich Terrenova-Secura — namentlich als Unterlage für Linoleum benutzt. Diese Estrichmasse, vorzugsweise aus gewaschenen, z. T. porösen Mineralien gebildet, ist unlöslich, raumbeständig, sehr gut luftdurchlässig, warm, schalldämpfend, bei ihrer porösen Oberfläche sehr geeignet zum Aufkleben von Linoleum, einfach in der Herstellung, billig und nach 2 bis 3 Wochen vollkommen trocken.

b) Terrasit-Edelputz (Terrasit-Industrie G. m. b. H. Berlin-Halensee), ist in seinen Eigenschaften dem unter a) erwähnten Baustoffe durchaus ähnlich. Die Färbung wird durch vermahlene Naturgesteine erzeugt[3]), sodaß der fertige Putz Steincharakter erhält und beliebige Steinarten nachzubilden gestattet. Die Körnung ist fein, mittel und grob, die Benutzung als Putzmaterial unbeschränkt. Ein Abwaschen mit verdünnter

[1]) An Ceresit ist für 1 qm rd. $^1/_2$ kg erforderlich. Dieser Zuschlag sichert unbedingt trockene Schlagseiten.

[2]) Aus Versuchen der Material-Prüfungsanstalten zu Berlin und München folgt, daß Terranova rd. 80mal dem verlängerten Zementmörtel in bezug auf Wasserabweisung überlegen ist. Die bezüglichen Ermittelungen erfolgten durch Auftropfen von Wasser auf gleich hergestellte Putzflächen; es wurde die Zeit bestimmt, innerhalb der das Wasser von der Putzfläche aufgenommen wurde.

[3]) Üblich sind die Farben: silbergrau, bleigrau, dunkelgrau, gelb, hellrot, dunkelrot, grünlich.

Salzsäure ist unschädlich. Das Material wird als nicht wasserabweisend bezeichnet, da gerade die Wasseraufnahme und Trocknung des Putzes hier als wichtig für die Bewährung und Dauerhaftigkeit angesehen wird.

Auch Terrasit-Estrich wird hergestellt, desgleichen werden Terrasit-Kunststeine geliefert.

c) Lithin. Dieser Putz wird hergestellt von der A.-G. Steinfels bei Parksteinhütten in Bayern, wird in der Färbung aller Naturgesteine geliefert, deren kristallinische Körner mit hydraulisch wirkenden Bindemitteln vereinigt werden. Demgemäß führt der Putz zu einer Nachahmung beliebiger Naturgesteine, und zwar in verschiedenster Korngröße (von 1—6 mm). Geliefert wird als Fassadenputz ein langsam bindendes Lithin, für Kunststeine und Gußarbeiten eine schneller erhärtende Abart; auch wird der Putzstoff zu Estrich verwendet.

d) Felsit-Porphyr ist ein Mittel für Fassadenputz und Estricherzeugung der Porphyr-G. m. b. H. in Freihung (Oberpfalz) und rein mineralischer Art, aus Feldspat und Quarz als Rohstoffen gebildet, die besonders aufbereitet und hierbei mit Naturfarbstoffen versetzt werden. Der harte, frost- und wetterbeständige, poröse Putzmörtel liefert einen ästhetisch sehr befriedigenden Putz.

e) Diabasit (der Putz- und Estrichwerke G. m. b. H. in Langelsheim im Harz), ahmt die Farbe des Diabas nach, ist im allgemeinen grüngrau, läßt aber auch jede andere Färbung zu.

f) Topasit, ein ebenfalls wetter- und farbbeständiges Putz- und Estrichmaterial der Topasitwerke Strube u. Co. zu Langelsheim a. H.

§ 95. Roman-Zemente [1]).

Bezüglich ihrer Verwendbarkeit und Erhärtungsart stehen die aus möglichst homogenen Kalkmergeln von hohem Kieselsäure- und Tonerde-Gehalte erbrannten Romanzemente den hoch hydraulischen Wasserkalken nahe; sie enthalten bis 30 v. H. Ton und 50—70 v. H. $CaCO_3$. Während sich aber hydraulische Kalke nach dem Eintauchen in Wasser zu einem mehr oder weniger feinen Pulver löschen lassen, d. h. hierbei zu Mehl zerfallen, tritt dies bei den Romanzementen nicht mehr ein; jedoch teilen sie wieder die Eigenschaft der hydraulischen Kalke, nach dem Abbinden unter Wasser gebracht, hier unter allmählicher Zunahme an Festigkeit zu erhärten.

Im Gegensatze zum Portlandzement enthalten Romanzemente nach ihrem Brennen stets noch etwas Ätzkalk. Sie werden i. d. R. — abgesehen von wenigen hochkieselsäurehaltigen Gesteinen — noch unter ihrer Sintertemperatur gebrannt, hierauf fein bis körnig gemahlen, in dieser Form als Mehl in den Handel gebracht und zur Mörtelherstellung unmittelbar verwendet. Ihr Abbindevorgang erfolgt demgemäß erst im Mörtel selbst.

In obigem Sinne sprechen sich auch die österreichischen und die Schweizer Normen für einheitliche Benennung usw. der hydraulischen Bindemittel aus:

Erstere besagen, daß: „Romanzemente Erzeugnisse sind, welche aus tonreichen Kalkmergeln durch Brennen unterhalb der Sintergrenze gewonnen werden und bei Be-

[1]) Die Bezeichnung ist englischen Ursprunges. Zuerst wurden in England natürliche Zemente erbrannt, welche wegen der Ähnlichkeit in bezug auf ihre Wirkung im hydraulischen Mörtel mit der Puzzollanerde den Namen Römische Zemente (Roman-Z.) erhielten.

netzung mit Wasser sich nicht löschen und daher erst durch mechanische Zerkleinerung in Mehlform gebracht werden müssen".

Nach den Schweizer Bestimmungen sind „Romanzemente Erzeugnisse, welche aus tonreichen Kalkmergeln durch Brennen unterhalb der Sintergrenze und darauffolgender Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit gewonnen werden".

Zugefügt wird:

„Vor eintretender Sinterung bzw. vor eintretender Verschlackung gar gebrannte Kalkmergel bestimmter chemisch-physikalischer Beschaffenheit geben Romanzemente. Der Einwirkung der Atmosphärilien ausgesetzt oder mit Wasser benetzt, zerfällt das gebrannte Material nicht (oder doch nur teilweise), muß daher stets auf geeigneten Mahlvorrichtungen zerkleinert werden. Das Mehlgut ist erdig-körnig; die Farbe gelblich, mit Abstufungen ins Rötlichbraune" usw.

Das spezifische Gewicht der Romanzemente beträgt nur ausnahmsweise mehr als 3,0, und liegt i. d. R. bei 2,7. Ihre Lagerung muß eine durchaus sichere sein, da sie begierig Wasser und Kohlensäure aus der Luft aufnehmen und hierdurch an Bindefähigkeit erheblich einbüßen; überhaupt empfiehlt es sich, diese Zemente nicht zu lange liegen zu lassen, sondern sie möglichst frisch zu verwenden, wie auch ihrer Sendung über See Schwierigkeiten und Nachteile entgegenstehen.

Viele Romanzemente sind Raschbinder, d. h. ihre Erhärtung beginnt oft schon nach wenigen Minuten, daneben gibt es Halblangsam-Binder und Langsam-Binder, bei denen die obige Grenze nicht weit über 15 Minuten und bei etwa 3—4 Stunden liegt. Mit dem Beginne des Abbindens geht eine — oft erhebliche — Temperaturerhöhung Hand in Hand; sie dauert an bis der Erhärtungsprozeß beendet. Da sich der Abbindevorgang ebenso schnell unter Wasser wie an der Luft vollzieht, so eignen sich Romanzemente durchaus zu Wasserbauten, und hier namentlich an Stellen, wo es in erster Linie auf ein Abdichten gegenüber dem Wasserdrucke und weniger auf hohe Festigkeit ankommt. Während gut gebrannte Romanzemente eine durchaus regelmäßig vorschreitende Erhärtung zeigen, kann bei unrichtig gebranntem oder nicht vollkommen gleichartigem Material die Bindekraft, die zuerst groß ist, während des Abbindens plötzlich nachlassen, um jedoch nach einiger Zeit wieder bis zur normalen Größe anzusteigen.

Bei der Herstellung des Mörtels werden zuerst trockener Zement und trockener Sand innigst gemischt, und zwar in kleinen Mengen, die schnell verbraucht werden können. Die Sand-Zementmischung wird hierauf auf Wasser undurchlässiger Unterlage in Haufenform aufgesetzt und in der Mitte soweit ausgehöhlt, daß hier die notwendige Wassermenge Platz hat. Das Ganze wird dann rasch und energisch durchgearbeitet und gleich verwendet. Soll der Mörtel wasserdicht sein, so wird die Mischung stets satt genommen, d. h. man verwendet mindestens soviel Zement als der Porenraum im Sande beträgt, also i. d. R. 40—45 v. H. RT. Zement auf 55—60 v. H. Sand, während für gewöhnlichen Mauermörtel bzw. Putz an der Luft ein Mischungsverhältnis von 1 : 7 bzw. 1 : 3 bis 1 : 5 üblich ist.

Der Mörtel ist so rasch zu verwenden, daß er seine Lage im Bauwerk einnimmt, noch ehe sein Abbinden begonnen hat, da namentlich die Anfangserhärtung eine kräftige ist. Da Romanzement erdig-locker ist, nimmt er auch mehr Wasser auf als zur Bildung der Hydrosilikate usw. notwendig ist. Bei Lufterhärtung verdunstet wohl ein Teil dieses Wassers, vielfach bleibt es aber als Porenwasser zurück und vermindert als solches die Festigkeit des Mörtels; man sollte daher den Romanzement so steif wie möglich, d. h. mit rd. 34 v. H. Wasser anmengen, und auch dafür besorgt sein, daß der angemachte Mörtel sofort verbraucht werde, da der z. T. schon abgebundene, um wieder gut verarbeitbar

zu werden, einen neuen Wasserzusatz verlangt, der, aus den vorstehend ausgeführten Gründen, den Mörtel schädigt. Deshalb sollte man, namentlich für Putz- und Gesimsarbeiten nur soviel Mörtel im Kasten anmachen, als in längstens 10 Minuten verarbeitet werden kann. Da ferner absaugende Steine das Abbinden stark befördern, ist eine starke Annässung derartigen, also namentlich des Ziegel-Mauerwerkes unbedingt notwendig, da sonst an der Berührungsfläche zwischen Stein und Mörtel durch plötzliches Zusammenziehen des letzteren keine ausreichende Haftung eintritt.

In ähnlichem Sinne ist Putz aus Romanzement (wegen seiner Austrocknung und des schlechten Haftens wie des Auftretens von Schwindrissen) vor Sonnenbestrahlung und starkem Luftzuge durch vorgehängte Matten u. dgl. in der ersten Zeit zu schützen.

Die Ausbeute an Mörtel ist bei 1:3 angenähert durch die Volumenmasse des Sandes bedingt, dessen Hohlräume von Zement und Wasser erfüllt werden; hier ergibt sich bei feinem Sande eine Mörtelmasse von 3,0—2,95 RT., dsgl. bei gemischtem fein- und grobkörnigem Sande, während bei grobem Sande rd. 2,90 RT. entstehen; eine Mischung 1:1 liefert i. M. 1,6, 1:2 dsgl. 2,3 RT. Mörtel.

Als Festigkeit wird von den österreichischen Normen verlangt:

	Erhärtungsdauer	Druck-	Mindest-Zugfestigkeit in kg/qcm
für langsam- und mittelbindende Romanzemente	7 Tage	—	5
	28 Tage	80	10
für raschbindende Romanzemente	7 Tage	—	4
	28 Tage	60	8

Hierbei hat das Mittel aus den 4 besten Ergebnissen von 6 geprüften Körpern als die mittlere Festigkeit in den betreffenden Altersklassen zu gelten.

Die Schweizer Vorschriften schreiben nach 28tägiger Erhärtung (25 unter Wasser, die ersten 3 Tage an der Luft) bei einer Mischung 1:3 eine Zugfestigkeit von mindestens 12, eine Druckfestigkeit von mehr als 100 kg/qcm vor.

In Deutschland sind als Normenzahl vorgeschlagen — nicht eingeführt — für den Mörtel 1:3

Erhärtungszeit	7	28	365	Tage
Zugfestigkeit	10	15	25	kg/qcm.
Druckfestigkeit	75	120	225	kg/qcm.

Für einen Romanzement kann man nach 7tägiger bzw. 28tägiger Erhärtung mit einer Zugfestigkeit von i. M. 15,5 bzw. 24, und einer Druckfestigkeit von rd. 130 bzw. 170 kg/qcm rechnen.

Neben der Bestimmung der Festigkeit hat sich die Prüfung der Romanzemente, für die in Deutschland im allgemeinen[1]) die Portlandzementprüfung zugrunde gelegt wird, zu erstrecken auf: die Abbindeverhältnisse, die Volumenbeständigkeit und die Feinheit der Mahlung; bezüglich letzterer ist es, da die Bindefähigkeit und die Festigkeit des Mörtels mit der Feinheit des Zementes erheblich zunimmt und die Erscheinung des Treibens um so weniger zu befürchten ist, je feiner das Zementmehl ist, zweckmäßig, zu verlangen, daß auf dem 900 Maschen-Sieb nicht mehr als 20 v. H. Rückstände ver-

[1]) Vergleiche hierzu die österreichischen Bestimmungen für die einheitliche Lieferung von Romanzement (aufgestellt vom österreichischen Ingenieur- und Architekten-Verein i. J. 1890) und die Schweizer Normen vom Jahre 1905. Beide sind u. a. abgedruckt in: Hydraul. Kalk- und Portlandzement von Dr. H. Zwick. Dritte umgearbeitete Auflage von Dr. A. Moye, Wien und Leipzig. A. Hartlebens Verlag 1909. S. 202 und 213.

bleiben dürfen. Diese Zahl ist in Österreich auf 18 v. H., in der Schweiz auf 15 v. H. festgesetzt.

Hauptarten des deutschen[1]) Romanzementes nach ihren Fundorten sind: Kufsteiner Zement aus den Brüchen von Kufstein, Perlmoos, Reichenhall, Staudach u. a., Bielefelder-Zement von hellbrauner Farbe, Portaer-Zement, hellgelbfarben, aus der Mindener Gegend, ein Raschbinder; auch liefern das Rheinland, sowie die Gegend von Freienwalde und Neustadt-Eberswalde, sowie Hildesheim usw. Romanzemente.

Die Lieferung erfolgt, gleichwie beim Portlandzement in Fässern und Säcken, und zwar in Normalfässern zu 250 kg oder in Säcken mit 60 und 75 kg brutto. Das Gewicht der Packung darf bei Fässern nicht mehr als 5, bei Säcken 15 v. H. betragen. Zur Umrechnung in Raummaß dient, daß 50 kg Gewicht etwa 47 l (bei Sack- und Faßpackung) entsprechen. 1 hl Romanzement lose geschüttelt wiegt 80 bis 105 kg. Der Preis ist gegenüber Portlandzement niedriger, naturgemäß kann letzterer aber als Kunsterzeugnis in größerer Gleichmäßigkeit seiner Zusammensetzung hergestellt werden.

§ 96. Portlandzement, Portlandzementmörtel und -Beton.

Nach den deutschen Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandzement vom Dezember 1909[2]) ist die Begriffserklärung von Portlandzement folgendermaßen gefaßt:

„Portlandzement ist ein hydraulisches Bindemittel mit nicht weniger als 1,7 Gew.-T. Kalk (CaO) auf 1 Gew.-T. löslicher Kieselsäure (SiO_2) + Tonerde (Al_2O_3) + Eisenoxyd (Fe_2O_3), hergestellt durch feine Zerkleinerung und innige Mischung der Rohstoffe, Brennen bis mindestens zur Sinterung und Feinmahlen. Dem Portlandzement dürfen nicht mehr als 3 v. H. Zusätze zu besonderen Zwecken zugegeben sein.

Der Magnesiagehalt darf höchstens 5 v. H., der Gehalt an Schwefelsäure-Anhydrit nicht mehr als $2\frac{1}{2}$ v. H. im geglühten Portlandzement betragen[3])".

Wie sich schon aus dieser Begriffserklärung ergibt, sind die Rohstoffe zur Herstellung der Portlandzemente kohlensaurer Kalk und Ton, und zwar werden im Durchschnitt auf 75 Teile des ersteren Stoffes 25 Teile des letzteren kommen. Naturgemäß sind diese Zahlen abhängig von der Art des Rohmaterials, sodaß eine jede Fabrik im allgemeinen ihre besonderen Mischungsverhältnisse haben wird und haben muß. Aus demselben Grunde ist auch das Fabrikationsverfahren, namentlich in Hinsicht darauf, wie die beiden Rohstoffe innig miteinander vermischt werden müssen, recht verschieden; hier spielt in erster Linie die Art des Kalkes eine Rolle. Besteht er in Wiesenkalk, Kreide, weicherem Kalkmergel, so wird die Vereinigung von Kalk und Ton meist auf nassem Wege, durch Zusammenschlämmen bewirkt, während härtere Kalksorten i. d. R. unmittelbar gemahlen und auf trockenem Wege mit dem Ton vermischt werden. Auch kann — namentlich bei starker Verunreinigung — nur einer der beiden Stoffe geschlämmt, der andere trocken zugeführt werden. Naturgemäß ist das Mischen der Rohstoffe auf Grund

[1]) Außer in Deutschland findet sich Romanzement in größeren Mengen in England, Frankreich und Österreich.

[2]) Die deutschen Normen sind durch Runderlaß des preußischen Ministers für öffentliche Arbeiten vom 16. März 1910 anerkannt; sie treten hiermit an Stelle der früheren Normen vom 28. Juli 1887 (Z. d. B. 1887, S. 309).

[3]) Wegen der Begründung vergl. den Abdruck der Normen auf den S. 620 u. flgd.

quantitativer Analysen auszuführen, da nur auf Grund solcher eine dauernde Gleichmäßigkeit des Zementes zu erreichen ist.

Bei Auswahl der Rohstoffe sind solche Kalksteine zu bevorzugen, welche bereits Ton enthalten, also als Kalkmergel anzusprechen sind, da sie nur noch eines meist geringeren Zusatzes an Ton bedürfen; ein starker Gehalt an SiO_2 ist hierbei nicht erwünscht, desgleichen an Magnesia, um so weniger als letztere im fertigen Zemente Treiberscheinungen hervorrufen kann. Nur verhältnismäßig selten wird der Kalkmergel eine solche Zusammensetzung von Natur aus aufweisen, daß er, unmittelbar dem Bruch entnommen, zu Zement gebrannt werden kann. Je dichter der Kalkstein ist, um so besser ist seine Ausbeute, ferner steigt mit größerer Härte auch die spätere Güte des Zementes.

Bei Auswahl des Tones ist darauf zu achten, daß die Kieselsäure in leicht aufschließbarem Zustande vorhanden sein muß, also nicht in Form beigemengten Sandes. Durch einen mäßigen Gehalt an Eisenoxyd und Alkalien wird das Sintern des Zementklinkers erleichtert; derartige Beimengungen sind mithin von Vorteil. Nach Michaelis soll man, da ein hoher Kalkgehalt nur günstig für den Zement ist[1]), mehr als 2 Gew.-T. Kalk (CaO) auf 1 Gew.-T. Silikat verwenden. Als oberste Grenze sind 2,4 Gew.-T. CaO zu wählen, und zwar kann der Kalkgehalt um so höher genommen werden, je inniger die Mischung von Ton und Kalk ist. Nach O. Schott liegt die Zusammensetzung guter Portlandzemente in den Grenzen:

CaO	60—67 v. H.
$Al_2O_3 + Fe_2O_3$ . .	8—14 „ „
SiO_2	20—23 v. H.

Die Aufbereitung der Rohstoffe hat ihr feinstes Zerteilen und innigstes Mischen zum Endzwecke, da nur alsdann der Sinterprozeß ein vollkommener wird.

Wie vorstehend schon kurz erwähnt wurde, kann die **Aufbereituug** — abhängig von der Art der Rohstoffe — bestehen

a) in einem Schlämmverfahren, nasse Aufbereitung,
b) in einem Halbnaßverfahren,
c) in einem Trockenverfahren.

a) Bei dem ersten Verfahren werden beide Rohstoffe unter Zusatz von viel Wasser zunächst zerkleinert und dann vermahlen; hierdurch erlangt die Rohmischung die Form eines dünneren oder dickeren Schlammes, dessen Dichte sich nach den Rohstoffen und weiteren Betriebsanforderungen richtet. Namentlich ist eine Verdünnung des Schlammes angebracht, wenn man hierbei aus den Rohstoffen Sand entfernen will, zu welchem Zwecke der Rohschlamm auch durch Kanäle mit Absitzbecken u. dgl. geleitet wird. In gleicher Weise kann auch für sich allein zu demselben Zwecke der Ton geschlämmt und von Sand befreit werden.

Bei den älteren Fabriken läßt man den Dünnschlamm in ziemlich ausgedehnte Becken laufen und hier sich absetzen. Das überflüssige Wasser wird fortgeleitet und hierauf der Schlamm entnommen und in Ziegeln geformt, die dem Brennofen übergeben werden; in neuen Anlagen wird hingegen, falls kein Sand zu entfernen ist, Dickschlamm erzeugt, der unmittelbar nach „Naßrohrmühlen“[2]) gelangt zum Zwecke der Feinmahlung,

[1]) Eine Ausnahme macht hier nur der schnell bindende Portlandzement, der größeren Tongehalt und geringere Kalkbeimengung verlangt.

[2]) Hier kommen u. a. als Spezialmaschinen in Frage die Dana-Rohrmühle von Smidth-Kopenhagen, die Rotatoren und Finitoren zum Naßmahlen von Polysius-Dessau, die Clarke-Mühle derselben Firma usw.

um von hier aus in Sammelbecken zu gehen, die — mit Rührwerken versehen — zugleich zum Gleichartigmachen der Rohmasse, gegebenenfalls noch unter Zusatz des einen oder anderen Rohmaterials, dienen. Schließlich wird von hier aus der Schlamm — durch Pumpen u. dgl. — dem Drehofen zugeführt.

Als maschinelle Einrichtungen dienen bei Naßverfahren Schlammbecken mit Rührwerken, Naßkollergänge, Naßsiebtrommeln (zum Ausschöpfen des Schlammes aus dem Becken und Trennung dieses hierbei von den größeren Körnern) usw. Das Probenehmen für die dauernd notwendige, chemisch-quantitative Untersuchung der Rohmasse erfolgt in den Schlammbecken.

b) Bei der halbnassen Aufbereitung wird nur der Ton geschlämmt und ihm der trockene, sehr fein gemahlene Kalkstein in einer Misch- und Knetmaschine zugeführt. Die Rohmasse wird letzterer entnommen und in Ziegelform gepreßt.

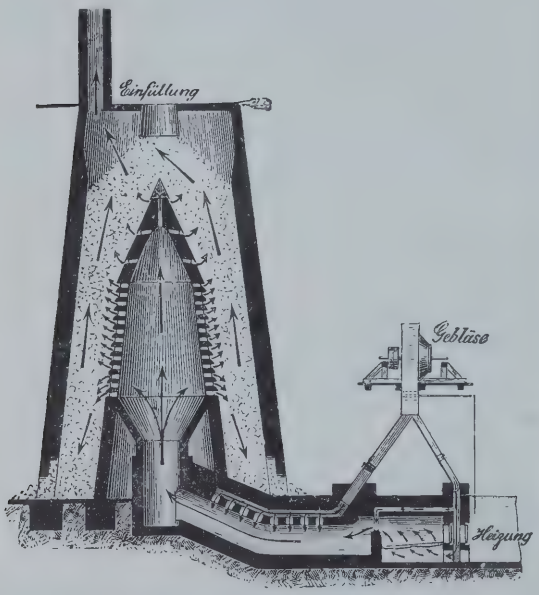

Abb. 4 a.
Längsschnitt durch einen Trockenturm.

Abb. 4 b.
Ansicht eines Trockenturmes.

c) Das Trockenverfahren beginnt mit der gesonderten Trocknung von Kalkstein und Ton, gegebenenfalls nach vorheriger grober Zerkleinerung des einen Rohstoffes oder von beiden. Diesem Zwecke dienen rotierende, von außen her erhitzte oder für die Durchleitung heißer Luft eingerichtete, meist geneigt liegende, in offene Zellen eingeteilte Trockentrommeln oder Trockentürme. Ihr Grundzug beruht darauf (Abb. 4a, b), daß ein kegelförmiger, turmartiger Hohlraum mit einem, zur Einleitung der von außen kommenden Heizgase dienenden, innen hohlen Kern versehen ist. In den ringförmigen Raum um den Kern herum werden Kalk- bzw. Tonbrocken geschüttet; ihre Trocknung erfolgt durch Feuergase, welche aus Durchbrechungen der Kernwand in den Ringraum gelangen, hier die Rohstoffe umspülen und endlich nach einem Schornstein abziehen. Die Gesamteinrichtung ist also dem auf S. 590 beschriebenen Kalkofen ähnlich.

In neuerer Zeit dienen auch, den Drehöfen ähnliche, Rohmaterialtrockentrommeln dem vorgenannten Zwecke.

Nach ihrer Trocknung kommen die Rohstoffe in Mühlen, die sie allmählich,

schließlich bis zur Mehlfeinheit zerkleinern. Hierauf wird das Rohmehl soweit angefeuchtet, daß man aus ihm Ziegel für die Brennöfen formen kann oder bis es sich gerade ballt, um nunmehr unmittelbar in den Drehofen zu kommen.

Das Formen der Ziegel erfolgt entweder mit Strangpressen (vgl. S. 287) oder mit Pressen, wie sie bei der Kalksandsteinherstellung beschrieben wurden (vgl. S. 149). Dem Pressen der Strang-Ziegel folgt vor ihrem Brennen noch ein Trocknen — in guter Jahreszeit im Freien, sonst in besonderen Trockenkammern oder Trockenkanälen, die im allgemeinen den in der Ziegelindustrie verwendeten entsprechend gebaut und betrieben werden. Bei den trocken gepreßten Steinen, die im Ringofen gebrannt werden sollen, ist eine besondere Trocknung nicht notwendig; da hier durch die Art des Ringofenbetriebes, d. h. die allmähliche Einführung der Ziegel in größere Hitze die Trocknung vom Ofen selbst bewirkt wird (vgl. S. 309).

Das Brennen des Zementrohgutes hat zum Zwecke die vollkommene Heraustreibung des Wassers, auch des chemisch an den Ton gebundenen, das Vergasen der Kohlensäure des Kalksteinpulvers (bzw. der kohlensauren Magnesia), endlich die Herbeiführung des Sinterns der ganzen Masse, verbunden mit gegenseitiger chemischer Einwirkung der feuerfesten Bestandteile und der Erzielung größerer Dichte des ganzen Gemenges. Der aus dem Brande herauskommende, gargebrannte Zementklinker sieht grau und graugrün aus, zeigt ein rauhes, poröses Aussehen, klingt hell und ist von großer Schwere. Ist die Hitze zu hoch gewesen — erheblich über 1400° — so schmelzen die Klinker, erhalten hierbei ein basaltähnliches Aussehen und sind zur Zementherstellung nicht mehr brauchbar.

Als Brennöfen kommen heute vorwiegend in Frage der Ringofen, der Dietzschsche Etagenofen, der Aalborg und Schneider-Ofen und als neueste Art: der Drehofen.

Früher waren auch einfache Schachtöfen, wie sie noch heute in der Kalkindustrie Verwendung finden, im Gebrauche, d. h. periodisch brennende Öfen, welche jedesmal neugefüllt, zum Brande erhitzt und dann entleert wurden. Es liegt auf der Hand, daß hier die hohe, für Zementbrand erforderliche Temperatur eine besonders unvorteilhafte Ausnützung des Brennmaterials zur Folge hatte und zudem die ungleich große Hitze an den verschiedenen Stellen des Ofens kein gleichmäßiges Erzeugnis lieferte. Erheblich besser in beiderlei Beziehungen arbeiten die kontinuierlichen Öfen.

Unter ihnen nimmt eine hervorragende Stellung der bereits auf den Seiten 309 u. flgd. bei Herstellung der Ziegel besprochene Hoffmannsche Ringofen ein, in neuerer Zeit vielfach nach der Sonderbauart der Firma Eckardt & Hotop in Berlin ausgeführt, die darin besteht, daß an Stelle der sonst die einzelnen Kammern scheidenden Gurtbögen verschließbare, lange, quer durch das Gewölbe gehende Schlitze treten; durch diese können bequem größere Mengen Schwachbrand nachgefüllt werden, um nach erfolgtem Zusammensintern des Brenngutes eine Abdichtung gegen das Gewölbe hin zu bewirken. Als Vorteil des Ringofens ist — neben der Gleichartigkeit des Erzeugnisses und dem einfachen, sicheren Betriebe — sein verhältnismäßig geringer Brennstoffverbrauch (rd. 15—20 kg auf 100 kg Zement), hervorzuheben, während als Mangel der ziemlich lange dauernde Brand, vorwiegend aber der Umstand erwähnenswert ist, daß die Kühlung der Klinker hier langsamer als zweckmäßig vor sich geht. Dem berechtigten Bestreben, schnell zu brennen und auch schnell zu kühlen, tragen Ofenkonstruktionen Rechnung, die sich in ihrer Hauptform wieder dem Schachtofen anschließen, allerdings kontinuierlich arbeiten. Hier sind als weitverbreitet zu nennen der Etagenofen von Dietzsch, der Aalborg- und der Schneider-Ofen.

Bei dem Dietzschschen Ofen — Abb. 5[1]) — wird die Kontinuität des Betriebes im Gegensatz zum Ringofen, bei dem Feuer und Brennzone durch das stehende Brenngut weiterschreiten, dadurch erreicht, daß die Brennzone dauernd an derselben Stelle verbleibt und das Material sich ohne Unterbrechung durch sie hindurch bewegt. In Abb. 5 gelangt das Brenngut durch die Einfallöffnung a in den senkrechten Vorwärmeschacht b und von hier in den wagerechten Teil des Ofens c, um von hier aus, unter Zugabe von Brennmaterial (durch g) in den eigentlichen Brennraum d zu fallen. Der gargebrannte Zement gleitet dann nach e, wird hier durch die von unten hindurchstreichende

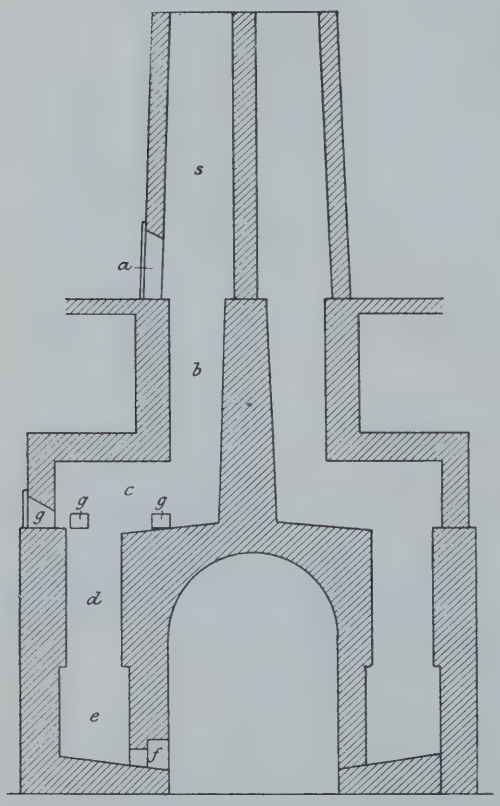

Abb. 5.
Grundzug des Dietzschschen Etagenofens.

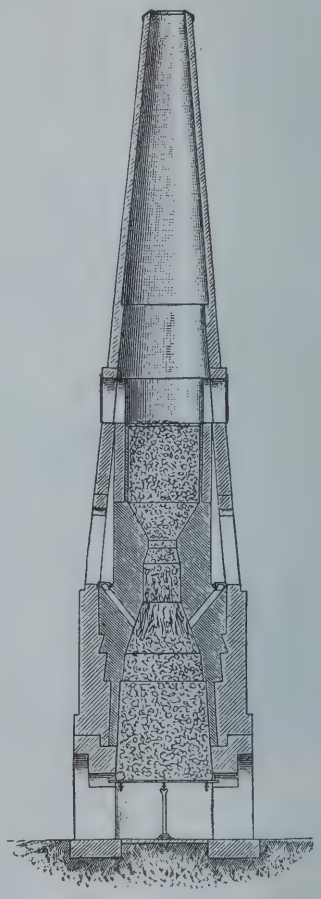

Abb. 6.
Längsschnitt durch den Aalburg-Ofen.

Luft, die sich hierbei selbst erwärmt, abgekühlt und endlich durch die Öffnung bei f herausgezogen.

Durch das Auseinanderschieben des Schachtes in die beiden Hauptteile b und d, die durch eine geneigte Ebene verbunden sind, erreichte Dietzsch die folgenden Vorteile:

In der eigentlichen Brennzone, in der das Brenngut am weichsten wird und am ehesten geneigt ist, an der Ofenwandung anzubacken, können die weichen Klinker nicht durch den Druck überlagernder Massen gegen die Ofenwandungen gepreßt werden; ferner

[1]) Vergl. u. a. R. Dietz: Altes und neues aus der Zement-Industrie, Arm. Beton, 1907, S. 120 u. flgd., sowie Uhlands Techn. Rundschau, 1908, Nr. 5—8. Hier ist u. a. auf das Verfahren von F. L. Smidth in Kopenhagen hingewiesen, welches in einem Naßknetverfahren besteht.

ist bei der Weiterbeförderung des Brenngutes durch den Teil c eine gute Beobachtung dieses und eine Beurteilung möglich, ob gut gefeuert wird bzw. wie weiterhin gefeuert werden muß.

Alles in allem bildet der Dietzschsche Ofen, der meist — Abb. 5 — als Doppelofen gebaut wird, eine ausgezeichnete Brenneinrichtung mit vorgewärmter Luft, dabei wenig Raum verlangend und bei geringem Brennverbrauche sehr wirtschaftlich arbeitend.

Ähnlich im allgemeinen ist der im Auslande vielfach bevorzugte Aalborgofen — Abb. 6 — nur verengt sich hier der Vorwärmeraum beim Übergang zum Brennraum sehr erheblich, wodurch die erweichende Masse in letzterem stark entlastet wird, namentlich an ihrem äußeren, am Ofenmantel anliegenden Teile. Hierdurch wird der Bildung von größeren Klumpen, sowie einem Hängenbleiben an der Wand entgegengearbeitet. Dem gleichen Zwecke dient eine Verbreiterung des unteren, an den Brennraum sich anschließenden Teiles (nach Bauart Schöfer)[1]).

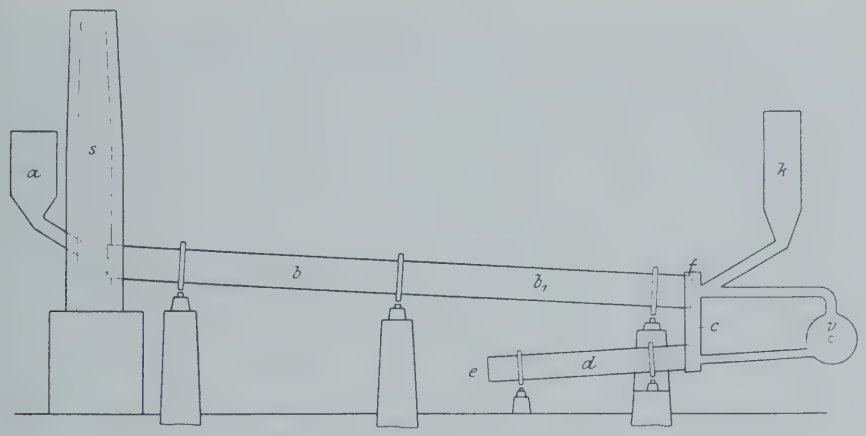

Abb. 7 a.
Grundzug eines Drehrohrofens.

Der Schneider-Ofen[2]) endlich ist ein sehr einfach gestalteter, für Koksheizung eingerichteter Schachtofen mit ununterbrochenem Betriebe, dessen Grundzug in seiner besonderen Beschickungsart liegt, die ein Ansetzen des Brenngutes an die Ofenwandung verhindert.

Bei allen den vorgenannten Öfen ist das Brennen des Zementes nur möglich nach einer vorangegangenen Formung des Brenngutes in Ziegelform. Hierdurch sind naturgemäß nicht unerhebliche Betriebskosten bedingt, um so mehr, als bei Herstellung der Ziegel aus dünnem Schlamm und mit Strangpressen noch eine künstliche Trocknung der Zementrohsteine verbunden werden muß. Es bedeutete daher einen sehr großen Fortschritt in der Ofenbauart und der Zementherstellung, als es gelang, die Zementrohmasse unmittelbar, d. h. wie sie aus dem Naß- oder

[1]) Ähnliche, aber weniger allgemein verbreitete, auf dem Grundsatze des Dietzschschen Ofens aufgebaute Systeme sind die Schachtofen von Schöfer (1), Hauenschild (2), Stein (3) und Hotop (4). Diese suchen die Mängel des Anbackens der Steine im Normal-Schachtofen zu verhindern durch Erweiterung der Ofenteile unter der Sinterzone (1), durch Kühlung und dünne Wandung des Ofenmantels (2), durch Verwendung eiserner Rippen ohne Ofenfutter (3), endlich durch Kühlung der inneren Ofenwandung (4).

[2]) Dieser Ofen ist wegen seiner einfachen Bauart und bequemen Bedienung beliebt; er wird von der Firma Schneider & Hock in Hamburg ausgeführt.

Trockenverfahren hervorgeht, ohne eine Zwischenstufe zu Zement zu brennen. Dies ermöglicht der Drehrohrofen[1]), der im letzten Jahrzehnte des vergangenen Jahrhunderts in Amerika eingeführt wurde und sich dort bestens bewährte. Nachdem es gelungen war, seine ausschließlich Mineralöl als Heizung verwendende Befeuerung durch Kohlenstaubfeuerung zu ersetzen, führte sich der Ofen auch bei uns ein. Den Betrieb des Drehofens mag die schematische Abbildung 7a, b erklären, während sein Aussehen in den Abbildungen 8, 9 u. 10 wiedergegeben ist. Die zu brennende Rohmischung gelangt (Abb. 7a) in den rotierenden Zylinder bb_1, den eigentlichen Drehrohrofen, von etwa 35 bis 40 m mittlerer Länge und etwa 2 m Durchmesser, bewegt sich allmählich den Feuergasen entgegen und fällt als gebrannter glühender Zement durch c in den kleineren Drehzylinder d, der zur Kühlung dient, um ihn bei e als fertiger Zement zu verlassen. Der obere, etwa $^2/_3$ des ganzen Drehzylinders betragende Teil dieses (b) dient als Trocken- und Vorwärmeraum, während das untere Drittel (b_1) den eigentlichen Brenn-

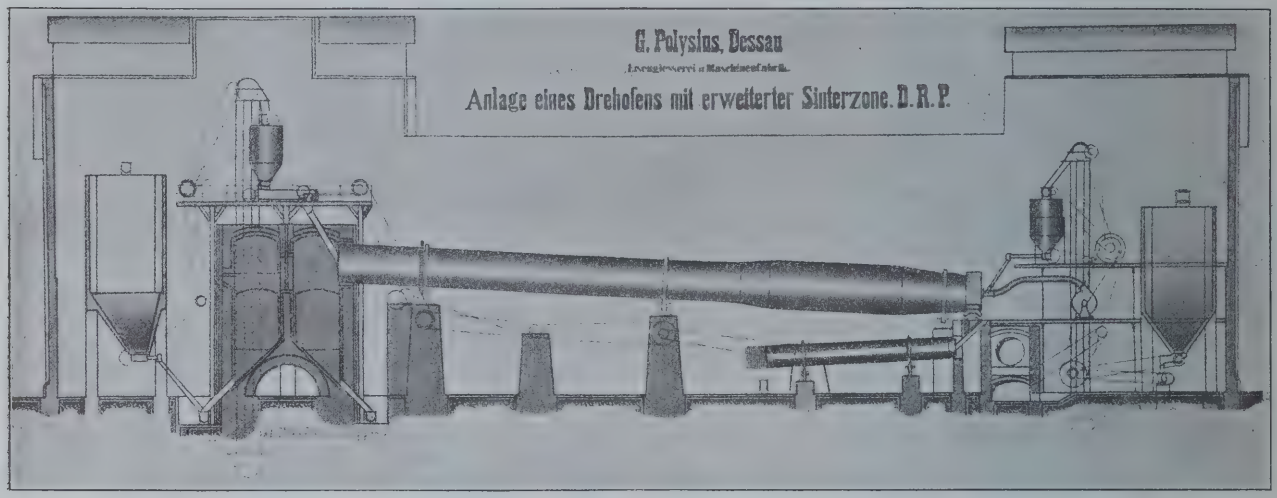

Abb. 7b.

raum bildet, die sogen. Sinterzone. Wie schon kurz erwähnt wurde, werden diesem Gange der Rohmasse entgegen die Verbrennungsluft und die Feuergase geführt. Der Kohlenstaub wird in k aufgegeben und gelangt nach f, wo er mit der von dem Ventilator v eingeblasenen Luft verbrennt. Diese Luft wird durch die Kühltrommel (d) über den glühenden Zement hinweg eingesaugt, kühlt diesen hierbei schnell ab und erhitzt sich selbst in hohem Maße. Demgemäß ist die Verbrennung bei f eine sehr innige und die in den Brennraum geleitetete Flamme — von sehr hoher Temperatur, — weiter günstig für Vorwärmung und Trocknung des Zementrohgutes im Drehofenteil b. Eine erhebliche neue Verbesserung des Ofens besteht in der Erweiterung der Sinterzone, wie dies Abb. 7b erkennen läßt, und in der Verwendung von Druckluft bei der Beheizung[2]), wodurch eine vollkommene Ausnutzung des Brennstoffes und eine Erhöhung der Leistung bewirkt ist.

Es liegt auf der Hand, daß der Drehrohrofen gegenüber den älteren Systemen außerordentliche Vorteile besitzt; außer den schon angeführten, auf die Vorbereitung der

[1]) Der Drehrohrofen ist eine Erfindung von Frederik Ransome (engl. Pat. von 1885); er fand zunächst in England, dann in Amerika Verwendung, wo er besonders durch Hurry und Seaman vervollkommnet wurde.

[2]) DRP. der Firmen F. L. Smidth & Co., Kopenhagen-Berlin usw. und Polysius in Dessau.

Rohmasse sich beziehenden, kommt vor allem die ausgezeichnete und hoch gleichmäßige Qualität des Zementes ferner die einfache Bedienung, namentlich eine erhebliche Ersparnis an Arbeitskräften in Frage.

Der fertig gebrannte Zementklinker bzw. Drehrohrofenzement wird nach Auswahl des „Schwachbrandes“ zerkleinert, und zwar bis zur Mehlfeinheit gemahlen. Je feiner die Mahlung ist, um so besser und wirksamer ist auch der Zement. Deshalb ist dieser letzteren Verarbeitungsstufe auch ganz besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Abgesehen von den zum Vorbrechen nur verwendbaren „Maulbrechern“, Brechwalzwerken und Kollergängen werden hier vorwiegend benutzt: Desintegratoren (Schleudermühlen vgl. S. 145), Kugelfallmühlen mit ihren zweckmäßigen und bewährten Abarten: der Kominormühle von F. L. Smidth & Co., dem Cementor von G. Polysius, weiter Rohrmühlen. Hervorhebenswert sind die Smidthsche Dana Rohrmühle, die Rotatoren und Finitoren von Polysius, die Roulettemühle von Amme, Giesecke und Konegen in Braunschweig (mit in wagerechter Ebene auf einer kreisrunden, gehöhlten, schmalen Laufbahn sich bewegenden Kugeln), Mahlgänge und Walzenstühle, endlich die Griffin- oder Pendelmühlen, bei denen die Zerkleinerungsarbeit durch einen aufrechten Kegelstumpf bewirkt wird, der am Ende eines, im Kreise schwingenden Pendels befestigt ist und an der Innenwandung eines Stahltopfes den vorgebrochenen Zementklinker zerreibt.

Mit den Zerkleinerungsmaschinen sind vielfach Siebvorrichtungen in unmittelbare Verbindung gebracht, und haben dann meist die Form von Trommeln. Daneben kommen — namentlich in neuerer Zeit — auch Windsichter vor, die unter Zuhilfenahme eines Ventilators das feine Mehl von dem „Grieß“ trennen. Auch zum Verwiegen und Verpacken des Zementes

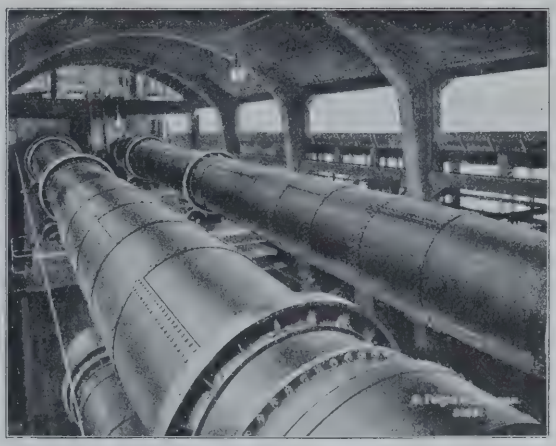

Abb. 8[1]). Drehrohröfen mit erweiterter Sinterzone; im Hintergrunde Rohmehlaufgabe und Rauchkammer.

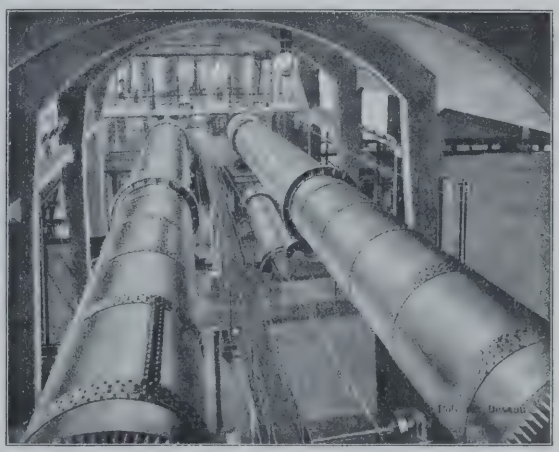

Abb. 9[1]). Drehrohröfen mit erweiterter Sinterzone und mit darunterliegender Kühltrommel. Im Hintergrunde Kohlenstaubzuführung.

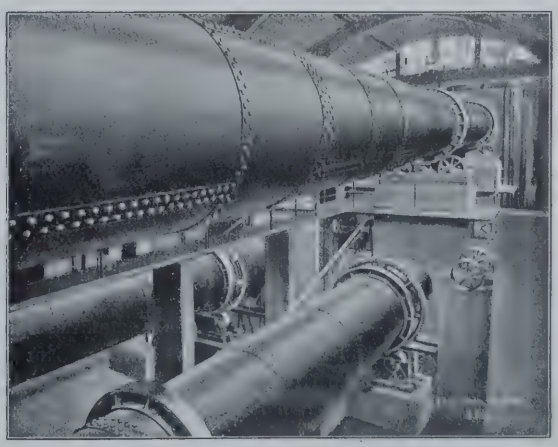

Abb. 10[1]). Drehrohröfen mit erweiterter Sinterzone und mit darunterliegenden Kühltrommeln nebst Antriebsvorrichtung.

[1]) Die Abbildungen entstammen Ausführungen der Firma G. Polysius-Dessau.

sind vollkommen automatisch arbeitende Vorrichtungen in den Zementbetrieben eingeführt, auf die an dieser Stelle einzugehen, jedoch zu weit führen würde.

Die Haupteigenschaften des Portlandzementes — soweit sie im Bauwesen eine Rolle spielen, sind in den **deutschen Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandzement vom Dezember 1909** zusammengefaßt; deshalb seien diese Bestimmungen nachfolgend wiedergegeben einschließlich der wertvollen Begründungen und Erläuterungen[1]):

[1]) Von besonderer Bedeutung ist auch der Erlaß des preuß. Arbeitsministers vom 16. III. 1910, mit dem diese Normen anerkannt und eingeführt werden, und zwar um so mehr als in ihm Stellung genommen wird zum Eisenportlandzement und Naturzementen.

„An Stelle der „Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandzement" vom 28. Juli 1887, Zentralbl. d. B. 1887, S. 309) treten von jetzt ab die „Deutschen Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandzement und von Eisenportlandzement" vom Dezember 1909. Beide Normen unterscheiden sich lediglich in den beiden Abschnitten:

I. Begriffserklärung
und II. Verpackung und Gewicht.

Bereits mehrere Jahre vor Aufstellung dieser neuen Normen waren in meinem Auftrage, und zwar auf Veranlassung des Vereins Deutscher Portlandzement-Fabrikanten und des Vereins Deutscher Eisenportlandzement-Werke, umfangreiche vergleichende Versuche mit Portland- und Eisenportlandzement vorgenommen worden; ich verweise deswegen auf das 5. und 6. Heft der „Mitteilungen aus dem Königlichen Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde-West", Jahrgang 1909.

Daselbst ist auf Seite 338 bis 353 die Prüfung von Eisenportlandzement im Vergleich zu Portlandzement in den Versuchsreihen I, IIa und b mitgeteilt. (Tabelle 1—23.) Das Ergebnis der Prüfung befindet sich auf Seite 353.

Die oben genannten Versuchsreihen können einen Anhalt geben, ob nach dem Gegenstande der Bauausführung die eine oder andere Zementart vorzugsweise geeignet erscheint; dabei ist hinsichtlich des Eisenportlandzementes, besonders wenn es sich um Lufterhärtung handelt die Bewährung mit besonderer Sorgfalt durch Versuche festzustellen. Die in der Regel für beide Zementarten zu veranlassende Ausschreibung kann hiernach ausnahmsweise auch von vorneherein auf eine Zementart beschränkt werden.

Im übrigen bemerke ich zu den neuen Normen folgendes:

Zu I, Begriffserklärung von Portlandzement.

Die in der Begründung und Erläuterung erwähnten Naturzemente sind den Portlandzementen ähnliche, aus natürlichen Steinen durch einfaches Brennen hergestellte Erzeugnisse, die jedoch mangels inniger Mischung der Bestandteile nicht die erforderliche Gleichmäßigkeit gewährleisten. Solche Zemente dürfen nicht als Portlandzemente bezeichnet werden.

Zu I, Begriffserklärung von Eisenportlandzement.

Um die Erfahrung bei Verwendung dieses Zementes zu erweitern, ist von etwaigen verdächtigen Erscheinungen, die eine schädliche Zusammensetzung der Schlacke vermuten lassen, dem Materialprüfungsamt in Groß-Lichterfelde Mitteilung zu machen.

Insbesondere wird eine Nachprüfung durch das Materialprüfungsamt erfordlich sein, falls die Vermutung vorliegen sollte, daß die Mischung des gelieferten Zementes der Probe nicht entspricht.

Zu VII, Festigkeit.

Bei Vergebung von größeren Zementlieferungen empfiehlt es sich, vor der Zuschlagserteilung nicht nur Proben mit Normensand und in der Normenmischung 1:3 anzustellen, sondern, wie dies in der Begründung und Erläuterung hervorgehoben wird, auch mit denjenigen Mischungen und Sandsorten, die bei dem Bau wirklich verwandt werden sollen (z. B. 1:5 oder 1:7).

Es sei hier noch besonders darauf hingewiesen, daß die Druckprobe in Zukunft in erster Linie maßgebend sein soll, die Zugprobe jedoch daneben beibehalten ist, da sie als Vorprobe genügt und auf den Baustellen meist leichter auszuführen sein wird."

Die geschichtliche Entwickelung des Prüfungswesens der Portlandzementes in Deutschland — vorbildlich geworden für die anderen Kulturstaaten — ist in Anm. [1]) besprochen und zwar ist hier die Abhandlung wiedergegeben, welche der um das Zement-Prüfungswesen hochverdiente Prof. Dr. Ing. R. Dyckerhoff dem deutschen Museum zu München überreicht hat.

Deutsche Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Zement.

Dezember 1909.

I. Begriffserklärung von Portland-Zement.

Portlandzement ist ein hydraulisches Bindemittel mit nicht weniger als 1,7 Gew.-T. Kalk (CaO) auf 1 Gew.-T. lösliche Kieselsäure (SiO_2) + Tonerde (Al_2O_2) + Eisenoxyd (Fe_2O_3), hergestellt durch feine Zerkleinerung und innige Mischung der Rohstoffe,

[1]) „Die ältesten Prüfungen des Portland-Zementes beschränkten sich darauf, daß man Probegegenstände, die aus reinem Zement oder aus Zement-Sandmischungen bzw. aus Beton geformt waren, im Wasser und an der Luft erhärten ließ und beobachtete, ob sie ihre Form unverändert beibehielten und eine angemessene Härte annahmen. Aus einer Veröffentlichung des Hauptmanns im Kgl. dänischen Ingenieurkorps L. Madsen in Kopenhagen [1]) erfahren wir, daß in Dänemark, wo man schon frühzeitig Portlandzement zu Ufer- und Festungsbauten anwendete, solche Prüfungen vom General Ernst bereits im Jahre 1845 begonnen wurden. Die ersten Festigkeitsproben, die veröffentlicht worden sind, wurden von White & Sons im Jahre 1847 ausgeführt, und zwar wurde die Druckfestigkeit an reinem Zement und an Zementsandmörtel bestimmt [2]).

Vom April 1858 an wurden auch an den Festungswerken von Kopenhagen Festigkeitsproben ausgeführt. In dem Zeitraum von 1859 bis 1867 beschränkte man sich im wesentlichen auf die Feststellung der Zugfestigkeit. Doch wurden schon im Jahre 1860 Druckversuche mit Würfeln von 1 Zoll, d. h. rund 26 mm Seitenlänge, angefangen und seit 1867 gleichzeitig mit den Zugproben ausgeführt. Daneben wurden auch die Bindezeit und Volumbeständigkeit des Zementes auf ähnliche Weise wie später bei den Normenproben bestimmt.

Im Jahre 1858 hatte auch John Grant, Chefingenieur der Londoner Kanalbauten, Versuche zur Prüfung des Portlandzementes begonnen. Er erfand eine Zerreißmaschine für seine Versuche und ermittelte eine möglichst zweckmäßige Form für die Herstellung der Probekörper. Seine Versuche erstreckten sich indessen nur auf die Prüfung des reinen Zementes zur fortlaufenden Kontrolle der zu den Kanalbauten von ihm verwendeten Portlandzemente.

Zu den ältesten Festigkeitsprüfungen des Portlandzementes zählen auch die in Wien angestellten und von Prof. Rebhann veröffentlichten Versuche [3]), bei denen mit Perlmooser Portlandzement und mehreren englischen Portlandzementen an reinem Material sowie an Mischungen mit Sand oder Schotter die Biegungs- und Druckfestigkeit bestimmt wurde.

Seit 1867 hatte man sich unter Leitung des Oberingenieurs Lindley auch am Kanalbauamt in Frankfurt a. M. nach Grantschem Vorbild mit der Zementprüfung befaßt. Es wurden hier neben der Prüfung des reinen Zementes auf längere Zeit, der Praxis entsprechend, auch fortlaufend Mischungen von Zement mit 1 bis zu 4 Teilen Sand geprüft. Ebenso hatten damals auch deutsche Portlandzement-Fabrikanten begonnen, ihr Erzeugnis auf Festigkeit zu prüfen. Anfangs geschah dies durch Ermittelung der Biegungsfestigkeit. Hierzu dienten Zement-Prismen mit rechteckigem Querschnitte (Länge: 130 mm, Breite: 65 mm, Dicke: 32,5 mm) und die folgende einfache Vorrichtung: Das Zement-Prisma wurde mit einer seiner flachen Seiten auf zwei Schneiden gelagert und von oben durch eine dritte Schneide, die an einem Hebel mit angehängter Wagschale befestigt war und ihren Angriffspunkt in der Mitte der beiden unteren Schneiden hatte, durch Auflegen von Gewichten auf die Wagschale so lange belastet, bis der Bruch

[1]) Baumaterialienkunde 1905, S. 180.

[2]) Builder, 1848 Juli, London. Vgl. auch Michaëlis: „Die hydraulischen Mörtel", Leipzig 1869. S. 241.

[3]) Försters Allgemeine Bauzeitung 1862, S. 261.

Brennen bis mindestens zur Sinterung und Feinmahlen. Dem Portlandzement dürfen nicht mehr als 3 v. H. Zusätze zu besonderen Zwecken zugegeben sein.

Der Magnesia-Gehalt darf höchstens 5 v. H., der Gehalt an Schwefelsäureanhydrid nicht mehr als 2½ v. H. im geglühten Portlandzement betragen.

Begründung und Erläuterung.

Portlandzement unterscheidet sich von allen anderen hydraulischen Bindemitteln durch seinen hohen Kalkgehalt, welcher eine innige Mischung der Rohstoffe in ganz be-

---

erfolgte. — Später bestimmte man in den Zementfabriken die Zugfestigkeit, wozu einzelne den Apparat von Grant benutzten.

Zu Anfang der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts beschäftigte sich die Firma Frühling, Michaëlis & Co. in Berlin vielfach mit der Prüfung des Portlandzementes. Sie ließ einen Zerreißapparat mit 30facher Hebelübersetzung bauen und später einen Doppel-Hebelapparat mit 50facher Übersetzung. Letzterer ist der allgemein bekannte, noch jetzt übliche Frühling-Michaëlissche Zugfestigkeitsapparat. Ferner wurde von Dr. Michaëlis eine zweckmäßige Form für die Zugprobekörper, die sog. Acht- oder Geigenform, eingeführt, welche ebenfalls noch jetzt in der Zementprüfung üblich ist.

Im Jahre 1871 trat die erste preußische Prüfungsstation für Baumaterialien unter Leitung von Dr. Böhme an der Kgl. Gewerbeakademie in Berlin in Tätigkeit, und im Jahre 1872 wurde die erste staatliche Prüfungsanstalt in Bayern an der Kgl. Technischen Hochschule in München errichtet. Diese war von vornherein mit den besten damals bekannten Hilfsmitteln ausgestattet und wurde das Vorbild für die später errichteten Prüfungsanstalten der verschiedenen deutschen Bundesstaaten. In München war es besonders Professor J. Bauschinger, der sich um das Prüfungswesen der Bau- und Konstruktionsmaterialien in hervorragendem Maße verdient gemacht hat.

Bei allen bisherigen Versuchen zur Prüfung des Portlandzementes fehlte indes die Einheitlichkeit in der Versuchsausführung. Wohl prüfte jede einzelne Versuchsstelle nach bestem Ermessen und Können, aber bei der Untersuchung desselben Zementes wurden an verschiedenen Stellen außerordentlich schwankende Ergebnisse erzielt. Diese Unterschiede in den Versuchsergebnissen machten sich in den Kreisen der Zementfabrikanten besonders fühlbar. Infolgedessen wurde auf der 11. Hauptversammlung des „Deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln, Tonwaren, Kalk und Zement“ im Januar 1875[1]) von der Portlandzementfabrik Gebr. Heyn in Lüneburg beantragt: „einen Modus festzustellen, nach welchem die Zemente auf absolute und relative Festigkeit zu prüfen seien“. Da jedoch die Ansichten über diesen Gegenstand noch sehr weit auseinander gingen, so einigte man sich schließlich dahin, den Zementtechniker Dr. Michaëlis in Berlin damit zu betrauen, eine Reihe von Fragen zu bearbeiten, die das, was man von einem guten Zement verlangen kann, berühren sollten. Dr. Michaëlis stellte hierauf in einer Abhandlung „Zur Beurteilung des Zements“[2]) am Schlusse eine Anzahl von Vorschriften auf, nach welchen Zement geprüft und auch beurteilt werden sollte. Diese Vorschriften erlangten jedoch auf der Hauptversammlung des „Deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln usw.“ 1876 nicht sämtlich die Billigung der Zementfabrikanten. Insbesondere gab die Michaëlissche Festigkeitsprüfung des Zementes nach 7 Tagen, die Prüfung des reinen Zementes als entscheidende Probe und die Herstellung der Probekörper auf absaugenden Unterlagen (Gipsplatten) Veranlassung zu Entgegnungen, und namentlich sind hier zwei Abhandlungen von Rudolf Dyckerhoff zu erwähnen: „Zur Prüfung von Portland-Zement“[3]) und „Über Prüfungsmethoden von Portland-Zement“[4]), die schon den Weg wiesen, auf welchem man später zu dem gewünschten Ziele gelangen sollte. Man schritt nun zur Wahl eines Ausschusses, der aus Mitgliedern des „Deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln usw.“, des „Berliner Architektenvereins“ und des „Vereins Berliner Baumarkt“ bestand. Dieser Ausschuß gelangte in mehreren im Laufe des Jahres 1876 abgehaltenen Sitzungen zur Abfassung von „Beschlüssen über einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Zement“, welche in sechs Resolutionen mit begleitenden Erklärungen und Motiven zusammengefaßt waren.

Bei den Beratungen des Ausschusses lagen auch vorläufige Mitteilungen über Versuchsergebnisse von Prof. Bauschinger in München vor, welche dieser mit zehn Zementen erhalten hatte, die von

[1]) Notizblatt des „Deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln usw.“ 1875, S. 85.
[2]) s. „Notizblatt“ 1875, Heft 3.
[3]) s. „Notizblatt“ 1876, S. 313.
[4]) Deutsche Bauzeitung 1877, Nr. 38.

stimmtem Verhältnisse bedingt, wie sie (sehr wenige natürliche Vorkommen ausgenommen) mit Sicherheit nur auf künstliche Weise durch feinstes Mahlen oder Schlämmen und innigste Mischung unter chemischer Kontrolle zu erreichen ist.

Es muß im Interesse der Abnehmer verlangt werden, daß ähnliche, aus natürlichen Steinen, durch einfaches Brennen hergestellte Erzeugnisse als „Natur-Zemente" bezeichnet werden.

Durch das Brennen bis zur Sinterung (beginnende Schmelzung) erhält das Erzeugnis eine große Dichte (Raumgewicht), welche eine wesentliche Eigenschaft des Portlandzementes ist.

mehreren Zementfabrikanten im Sommer 1876 eingesandt worden waren. Später sind die Ergebnisse dieser vielseitigen Versuche, bei welchen die Zemente auf Zug, Biegung, Schub und Druck und Volumbeständigkeit geprüft wurden, nach zweijähriger Versuchsdauer in den „Mitteilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der Kgl. Technischen Hochschule in München" von 1879, Heft 8 veröffentlicht worden. Außer der Volumbeständigkeit (Kuchenprobe im Wasser) wurde von Prof. Bauschinger auch die minimale Ausdehnung der Zemente während ihrer Erhärtung mittelst eines von ihm konstruierten, sehr empfindlichen Meßapparates bestimmt.

In den Beschlüssen, die von den oben genannten Vereinen und dem inzwischen gegründeten „Verein deutscher Zement-Fabrikanten" mit einigen Änderungen angenommen wurden, war die Zugfestigkeitsprobe nach 28 Tagen mit 3 Teilen Sand auf 1 Teil Zement als maßgebend aufgestellt, während die 7tägige Probe, mit Sandbeimischung oder mit reinem Zement, nur als Vorprobe zur Kontrolle der abgelieferten Ware gelten sollte. Als entscheidende Probe auf Volumbeständigkeit war die Kuchenprobe aus reinem Zement bei Erhärtung im Wasser aufgenommen. Für Packung, Bindezeit und Siebfeinheit des Zementes sowie für die Herstellung der Probekörper nach dem Einschlagverfahren, ferner für die Herstellung des Normalsandes waren ebenfalls bestimmte Vorschriften gegeben.

Die Beschlüsse der vier Vereine wurden 1877 dem preußischen Ministerium für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten, sowie den Ministerien und Baubehörden anderer deutscher Staaten als „Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Zement" vom „Verein deutscher Zement-Fabrikanten" zur Einführung empfohlen. Der Minister der öffentlichen Arbeiten ließ die „Beschlüsse" nochmals durch einen Ausschuß von Sachverständigen einer Prüfung unterziehen, und erst nachdem dieser die Beschlüsse mit einigen Änderungen gutgeheißen hatte, wurden die „Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandzement" mittelst Erlaß vom 10. November 1878 vom Minister der öffentlichen Arbeiten und später auch von den übrigen Ministerien des Königreichs Preußen eingeführt. Diese Normen haben bald nachher auch die Anerkennung der übrigen deutschen Staaten gefunden, sodaß sie heute in ganz Deutschland in Geltung sind und auch für viele andere Staaten (Österreich, die Schweiz, Rußland usw.) als Vorbild gedient haben.

Im Laufe der Jahre wurden die ursprünglich nur für Portlandzement aufgestellten Prüfungsvorschriften des öfteren ohne weiteres auch auf die Prüfung anderer hydraulischer Bindemittel wie Romanzement, Traß, Schlackenzemente übertragen, die andere, von Portlandzement abweichende Eigenschaften haben. (Vgl. auch die Veröffentlichung des Ministeriums der öffentlichen Arbeiten in Preußen im Zentralblatt der Bauverwaltung 1890 Nr. 52.) Durch zahlreiche Versuche war jedoch bewiesen worden, daß die Prüfung anderer Bindemittel nach den für Portlandzement aufgestellten Normen auch schon aus dem Grunde unzulässig ist, weil das Verhältnis zwischen Zug- und Druckfestigkeit bei den verschiedenen Bindemitteln ein wechselndes ist. Dies zeitigte eine Revision der Normen, bei der die Druckfestigkeit, da die Mörtel in der Praxis in erster Linie auf Druckfestigkeit in Anspruch genommen werden, als maßgebende Festigkeitsprobe vorgesehen wurde. Das Erscheinen von Mischprodukten am Markt machte ferner die Aufstellung einer Begriffserklärung für Portland-Zement notwendig.

Im Jahre 1886 legte der „Verein deutscher Portland-Zement-Fabrikanten" dem Ministerium der öffentlichen Arbeiten einen Entwurf der revidierten Normen zur Annahme vor. Nach dessen Begutachtung durch die Kgl. Prüfungsanstalt für Baumaterialien und die Kgl. Akademie des Bauwesens unter Zuziehung der beiden Vorsitzenden des Zementfabrikanten-Vereins wurden die Normen in der revidierten Fassung mittelst Erlaß vom 28. Juli 1887 vom Ministerium der öffentlichen Arbeiten eingeführt.

Die revidierten Normen von 1887 unterscheiden sich von den bis dahin geltenden Normen außer durch die schon erwähnte Einführung einer Begriffserklärung und der Prüfung auf Druckfestigkeit noch weiter dadurch, daß genauere Vorschriften für die Packung, die Ausführung der verschiedenen

Ein Magnesia-Gehalt bis zu 5 v. H., wie er bei Verwendung dolomithaltigen Kalksteins im Portlandzement vorkommen kann, hat sich als unschädlich erwiesen, wenn bei Bemessung des Kalkgehaltes der Magnesia-Gehalt berücksichtigt wurde.

Um den Portlandzement langsam bindend zu machen, ist es üblich, ihm beim Mahlen rohen Gips (wasserhaltiger, schwefelsaurer Kalk) zuzusetzen, außerdem enthalten fast alle Portlandzemente schwefelsaure Verbindungen aus den Rohstoffen und Brennstoffen.

Zusätze zu besonderen Zwecken, namentlich zur Regelung der Bindezeit, sind nicht zu entbehren, jedoch in Höhe von 3 v. H. begrenzt, um die Möglichkeit von Zusätzen lediglich zur Gewichtsvermehrung auszuschließen.

Ein Gehalt bis zu $2^1/_2$ v. H. Schwefelsäure-Anhydrid hat sich als unschädlich erwiesen.

Prüfungen, den Normalsand u. a. m. aufgestellt waren. Insbesondere wurde für die Herstellung der Festigkeitsprobekörper statt der bisher üblichen Handarbeit der Böhmesche Hammerapparat eingeführt. Die Mindestdruckfestigkeit der Mischung 1 Zement : 3 Sand nach 28 Tagen wurde auf 160 kg für 1 qcm festgesetzt und die Zugfestigkeit (entsprechend den Fortschritten in der Fabrikation des Portlandzements von 10 kg auf 16 kg/qcm erhöht. Ebenso wurde der höchste zulässige Siebrückstand auf dem 900 Maschensieb von 20 % auf 10 % herabgesetzt.

Die Herstellung des Normalsandes, der die Grundlage für die gesamten Festigkeitsprüfungen bildet, wurde in der Folge nach einheitlichem Verfahren durchgeführt und durch das Kgl. Materialprüfungsamt in Lichterfelde überwacht. Alle in den Handel kommenden Normalsandsäcke müssen die Plombe des Amtes tragen.

Um zu noch besserer Übereinstimmung bei den Festigkeitsprüfungen zu gelangen, erhielten die Normen, wiederum zufolge Antrages des „Vereins deutscher Portland-Zement-Fabrikanten“ und auf Befürwortung der Kgl. mechanisch-technischen Versuchsanstalt in Groß-Lichterfelde, mittels Erlaß des Ministeriums der öffentlichen Arbeiten vom 19. Februar 1902 eine Ergänzung in bezug auf den Wasserzusatz und die Mörtelbearbeitung. Für letztere wurde der Mörtelmischer von Steinbrück-Schmeltzer eingeführt.

Der „Verein deutscher Portland-Zement-Fabrikanten“ ist ferner tätig, noch weitere Verbesserungen der Normen für Portland-Zement einzuführen. So ist ein Ausschuß des Vereins bestrebt, eine Volumbeständigkeitsprobe aufzufinden, welche die Prüfung des Portland-Zementes zuverlässig und in kürzerer Zeit als die Normenprobe gestattet. Frühere, in Gemeinschaft mit der Kgl. preußischen mechanisch-technischen Versuchsanstalt ausgeführte Arbeiten ergaben nämlich, daß keine der bis jetzt bekannten, sogenannten beschleunigten Volumbeständigkeitsproben (Kuchendarrprobe, Kochprobe usw.) geeignet ist, ein in allen Fällen zuverlässiges und schnelles Urteil über die Verwendbarkeit eines Zementes in der Praxis zu gestatten[1]).

Da ferner, wie schon früher, auch neuerdings wieder gewisse Zemente (Mischzemente und andere, dem Portlandzement ähnliche Erzeugnisse), als Portlandzement in den Handel gebracht und infolgedessen nach den speziell für Portlandzement geltenden Normen geprüft und beurteilt werden, so beschäftigte sich der „Verein deutscher Portland-Zement-Fabrikanten“ damit, die frühere (1887) bei Revision der Normen aufgestellte Begriffserklärung für Portlandzement dadurch zu ergänzen, daß ihr diejenigen Merkmale des Portlandzementes hinzugefügt werden, die ihn in charakteristischer Weise von ähnlichen Bindemitteln unterscheiden[2]). Aus diesen Arbeiten sind die oben abgedruckten neuen Normen von 1909 hervorgegangen.

Andere europäische und außereuropäische Staaten haben ebenfalls Normen für die Prüfung von Portlandzement eingeführt, die indes in verschiedenen Punkten (nicht immer zum Vorteil der Prüfung sowohl, als des internationalen Handelsverkehres) von den deutschen Normen abweichen. Um nun zu einem einheitlichen Prüfungsverfahren zu gelangen, ist der internationale Kongreß für die Materialprüfungen der Technik bestrebt, möglichst ein internationales Prüfungsverfahren zu vereinbaren. Eine Einigung in allen abweichenden Punkten ist aber bis jetzt noch nicht erzielt worden.

---

[1]) s. Mitteilungen aus den Kgl. Technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1899, S. 59 und 60.

[2]) s. Protokolle des Vereins Deutscher Portland-Zementfabrikanten 1905 und 1906.

II. Verpackung und Gewicht.

Portlandzement wird in der Regel in Säcken oder Fässern verpackt. Die Verpackung soll außer dem Bruttogewicht und der Bezeichnung „Portland-Zement" die Firma oder Marke des Werkes in deutlicher Schrift tragen.

Streuverlust sowie etwaige Schwankungen im Einzelgewicht können bis zu 2 v. H. nicht beanstandet werden.

Begründung und Erläuterung.

Da bei Verpackung sowohl in Säcken wie in Fässern verschiedene Gewichte im Gebrauch sind, so ist die Aufschrift des Bruttogewichts unbedingt nötig.

Durch die Bezeichnung „Portland-Zement" soll dem Käufer die Gewißheit gegeben werden, daß die Ware der diesen Normen vorgedruckten Begriffserklärung entspricht[1]).

III. Abbinden.

Der Erhärtungsbeginn von normal bindendem Portlandzement soll nicht früher als eine Stunde nach dem Anmachen eintreten. Für besondere Zwecke kann rascher bindender Portlandzement verlangt werden, welcher als solcher gekennzeichnet sein muß.

Begründung und Erläuterung.

Der Erhärtungsbeginn von normal bindendem Portlandzement wurde auf mindestens eine Stunde festgesetzt, weil der Beginn des Abbindens von Wichtigkeit ist; dagegen ist von der Festsetzung einer bestimmten Bindezeit Abstand genommen, weil es bei der Verwendung von Portlandzement von geringer Bedeutung ist, ob der Abbindeprozeß in kürzerer oder längerer Zeit beendet wird. Etwaige Vorschriften über die Bindezeit sollten daher nicht zu eng begrenzt werden.

[1]) Der Verein Deutscher Portland-Zementfabrikanten verpflichtet und kontrolliert seine Mitglieder auf die Innehaltung der den Normen vorgedruckten Begriffserklärung und der darin festgelegten Eigenschaften des Portland-Zementes.

Diese Verpflichtung lautet:

„Die Vereinsmitglieder dürfen unter der Bezeichnung „Portland-Zement" nur ein Erzeugnis in den Handel bringen, welches dadurch entsteht, daß eine innige Mischung von feinzerkleinerten, kalk- und tonhaltigen Stoffen oder Kalk-Tonerde-Silikaten bis zur Sinterung gebrannt und bis zur Mehlfeinheit zerkleinert wird. Sie verpflichten sich, jedes Erzeugnis, welches auf andere Weise als wie oben angegeben, entstanden ist, oder welchem während oder nach dem Brennen fremde Körper beigemischt wurden, nicht als Portlandzement anzuerkennen und den Verkauf derartiger Erzeugnisse unter der Bezeichnung „Portlandzement" als eine Täuschung des Käufers anzusehen. Doch sollen von dieser Verpflichtung kleine Zusätze unbetroffen bleiben, welche zur Regelung der Abbindezeit des Portlandzementes oder zu anderen besonderen Zwecken bis zur Höhe von 3 v. H. erforderlich sein können.

Die Vereinsmitglieder verpflichten sich ferner, den Portlandzement in allen Beziehungen gemäß den Bestimmungen dieser Normen zu liefern.

Wenn ein Konsument für besonderen Zweck ausnahmsweise gröber gemahlenen Portlandzement als in den Normen vorgeschrieben, oder gefärbten Portlandzement verlangt, so ist diese Lieferung gestattet.

Wenn ein Vereinsmitglied den vorstehend angegebenen Verpflichtungen zuwiderhandelt, soll dasselbe vom Verein ausgeschlossen werden. Der erfolgte Ausschluß ist öffentlich bekannt zu machen."

Die Fabrikate der Vereinsmitglieder werden alljährlich im Vereinslaboratorium zu Karlshorst bei Berlin nach jeder Richtung auf Einhaltung dieser Verpflichtung geprüft, das Resultat wird in der Generalversammlung bekannt gegeben.

Um ein Urteil über das Abbinden eines Portlandzementes zu gewinnen, rühre man 100 g des reinen langsam bindenden Portlandzementes 3 Minuten, des rasch bindenden 1 Minute lang mit Wasser zu einem steifen Brei an und bilde auf einer Glasplatte einen etwa 1,5 cm dicken, nach dem Rande hin dünn auslaufenden Kuchen. Die zur Herstellung dieses Kuchens erforderliche Dickflüssigkeit des Portlandzementbreies soll so beschaffen sein, daß der mit einem Spatel auf die Glasplatte gebrachte Brei erst durch mehrmaliges Aufstoßen der Glasplatte nach dem Rande hin ausläuft, wozu in den meisten Fällen 27 bis 30 v. H. Anmachwasser genügen. Man beobachte die beginnende Erstarrung.

Zur Feststellung des Erhärtungsbeginnes und zur Ermittelung der Bindezeit bedient man sich der zylindrischen Normalnadel von 1 qmm Querschnitt und 300 g Gewicht, die senkrecht zur Achse abgeschnitten ist. Man füllt einen auf eine Glasplatte gesetzten konischen Hartgummiring von 4 cm Höhe und 7 cm mittlerem lichtem Durchmesser mit dem Portlandzementbrei (aus etwa 300 g Portlandzement) von der oben angegebenen Dickflüssigkeit und bringt ihn unter die Nadel. Der Zeitpunkt, in welchem die Normalnadel den Portlandzementkuchen nicht mehr gänzlich zu durchdringen vermag, gilt als der „Beginn des Abbindens“. Die Zeit, welche verfließt, bis die Normalnadel auf dem erstarrten Kuchen keinen merklichen Eindruck mehr hinterläßt, ist die „Bindezeit“.

Da das Abbinden von Portlandzement durch die Wärme der Luft und des zur Verwendung gelangenden Wassers beeinflußt wird, insofern hohe Temperatur das Abbinden beschleunigt, niedrige Temperatur es dagegen verzögert, so ist es nötig, die Versuche, um zu übereinstimmenden Ergebnissen zu gelangen, bei 15—18° C mittlerer Zement-, Wasser- und Luftwärme vorzunehmen und auch Geräte und Sand vorher auf diese Temperatur zu bringen.

Die Meinung, daß Portlandzement bei längerem Lagern an Güte verliere, ist irrig, sofern der Portlandzement trocken und zugfrei gelagert wird. Vertragsbestimmungen, welche nur frische Ware vorschreiben, sollten deshalb in Wegfall kommen.

IV. Raumbeständigkeit.

Portlandzement soll raumbeständig sein. Als entscheidende Probe soll gelten, daß ein auf einer Glasplatte hergestellter und vor Austrocknung geschützter Kuchen aus reinem Portlandzement, nach 24 Stunden unter Wasser gelegt, auch nach längerer Beobachtungszeit durchaus keine Verkrümmungen oder Kantenrisse zeigen darf.

Erläuterung.

Zur Ausführung der Probe wird der zur Beurteilung des Abbindens angefertigte Kuchen bei langsam bindendem Portlandzement nach 24 Stunden, jedenfalls aber erst nach erfolgtem Abbinden, unter Wasser gelegt. Bei rasch bindendem Portlandzement kann dies schon nach kürzerer Frist geschehen. Die Kuchen, namentlich von langsam bindendem Zement, müssen bis nach erfolgtem Abbinden vor Trocknung geschützt werden, am besten durch Aufbewahren in einem bedeckten Kasten. Es wird hierdurch die Entstehung von Schwindrissen vermieden, welche i. d. R. in der Mitte des Kuchens entstehen und von Unkundigen für Treibrisse gehalten werden können.

Zeigen sich bei Erhärtung unter Wasser Verkrümmungen oder Kantenrisse, so deutet dies unzweifelhaft „Treiben“ des Portlandzementes an, d. h. es findet infolge einer Raumvermehrung Zerklüften des Portlandzementes unter allmählicher Lockerung des

zuerst gewonnenen Zusammenhanges statt, welches bis zu gänzlichem Zerfallen des Portlandzementes führen kann.

Die Erscheinungen des Treibens zeigen sich an den Kuchen i. d. R. bereits nach 3 Tagen; jedenfalls genügt eine Beobachtung bis zu 28 Tagen.

V. Feinheit der Mahlung.

Portlandzement soll so fein gemahlen sein, daß er auf dem Siebe von 900 Maschen auf ein Quadratzentimeter höchstens 5 v. H. Rückstand hinterläßt. Die Maschenweite des Siebes soll 0,222 mm betragen.

Begründung und Erläuterung.

Zu der Siebprobe sind 100 g Portlandzement zu verwenden.

Genaue Siebe sind im Handel nicht zu haben, deshalb sollen Schwankungen der Maschenweite zwischen 0,215 mm bis 0,240 mm zulässig sein.

Da Portlandzement fast nur mit Sand, in vielen Fällen sogar mit hohem Sandzusatz verarbeitet wird, die Festigkeit eines Mörtels aber um so größer ist, je feiner der dazu verwendete Portlandzement gemahlen war (weil dann mehr Teile des Portlandzementes zur Wirkung kommen), so ist die feine Mahluug des Portlandzementes von Wichtigkeit.

Es wäre indessen irrig, wollte man aus der feinen Mahlung allein auf die Güte eines Portlandzementes schließen.

VI. Festigkeitsproben.

Der Portlandzement soll auf Druckfestigkeit in einer Mischung von Portlandzement und Sand nach einheitlichem Verfahren geprüft werden, und zwar an Würfeln von 50 qcm Fläche.

Begründung.

Da man erfahrungsgemäß aus den mit Portlandzement ohne Sandzusatz gewonnenen Festigkeitsergebnissen nicht einheitlich auf die Bindefähigkeit zu Sand schließen kann, namentlich wenn es sich um Vergleichung von Portlandzementen aus verschiedenen Fabriken handelt, so ist es geboten, die Prüfung von Portlandzement auf Bindekraft mittelst Sandzusatz vorzunehmen.

Weil bei der Verwendung die Mörtel in erster Linie auf Druck in Anspruch genommen werden und die Druckfestigkeit sich am zuverlässigsten ermitteln läßt, ist nur die Prüfung auf Druckfestigkeit entscheidend.

Um die erforderliche Einheitlichkeit bei den Prüfungen zu wahren, wird empfohlen, derartige Apparate und Geräte zu benutzen, wie sie beim Königlichen Materialprüfungsamt Groß-Lichterfelde in Gebrauch sind.

VII. Festigkeit.

Langsam bindender Portlandzement soll mit 3 Gew.-T. Normensand auf einen Gew.-T. Portlandzement nach 7 Tagen Erhärtung — 1 Tag in feuchter Luft und 6 Tage unter Wasser — mindestens 120 kg/qcm erreichen (Vorprobe); nach weiterer Erhärtung von 21 Tagen in Luft von Zimmertemperatur (15—20° C.) soll die Druckfestigkeit mindestens 250 kg/qcm betragen. Im Streitfalle entscheidet nur die Prüfung nach 28 Tagen.

Portlandzement, der für Wasserbauten bestimmt ist, soll nach 28 Tagen Erhärtung — 1 Tag in feuchter Luft, 27 Tage unter Wasser — mindestens 200 kg/qcm Druckfestigkeit zeigen.

Zur Erleichterung der Kontrolle auf der Baustelle kann eine Prüfung auf Zugfestigkeit dienen. Der Zement soll in einer Mischung von 1 Teil Zement : 3 Teilen Normensand nach 7 Tagen Erhärtung (1 Tag in der Luft, 6 Tage unter Wasser) mindestens 12 kg/qcm Zugfestigkeit aufweisen.

Bei schnell bindenden Portlandzementen ist die Festigkeit nach 28 Tagen im allgemeinen geringer, als die oben angegebene. Es soll deshalb bei Nennung von Festigkeitszahlen stets auch die Bindezeit aufgeführt werden.

Begründung und Erläuterung.

Da verschiedene Portlandzemente hinsichtlich ihrer Bindekraft zu Sand, worauf es bei ihrer Verwendung vorzugsweise ankommt, sich sehr verschieden verhalten können, so ist insbesondere beim Vergleich mehrerer Portlandzemente die Prüfung mit hohem Sandzusatz unbedingt erforderlich. Als normales Verhältnis wird angenommen: 3 Gew.-T. Sand auf 1 Gew.-T. Portlandzement, da mit 3 T. Sand der Grad der Bindefähigkeit bei verschiedenen Portlandzementen in hinreichendem Maße zum Ausdruck gelangt.

Wenn aber die Ausnützungsfähigkeit eines Portlandzementes voll dargestellt werden soll, empfiehlt es sich, auch noch Versuchsreihen mit höheren Sandzusätzen auszuführen.

Portlandzement, welcher eine höhere Festigkeit zeigt, gestattet in vielen Fällen einen größeren Sandzusatz und hat, aus diesem Gesichtspunkte betrachtet, sowie auch schon wegen seiner größeren Festigkeit bei gleichem Sandzusatz, Anrecht auf einen entsprechend höheren Preis.

Da die weitaus größte Menge des Portlandzementes Verwendung im Hochbau findet und in kürzerer Zeit die Bindekraft sich nicht genügend erkennen läßt, so wird als maßgebende Prüfung die auf Druckfestigkeit nach 28 Tagen Erhärtung — 1 Tag in feuchter Luft, 6 Tage unter Wasser und dann 21 Tage in Luft von Zimmertemperatur (15—20° C) — bestimmt, und damit den Verhältnissen der Praxis angepaßt.

Für den zu Wasserbauten bestimmten Portlandzement wird der praktischen Verwendung entsprechend die Prüfung nach 27 Tagen Wassererhärtung beibehalten.

Da aus der Zugfestigkeit des Zementes nicht in allen Fällen auf eine entsprechende Druckfestigkeit geschlossen werden kann, empfiehlt es sich bei sehr hohen Zugfestigkeitszahlen nach 7tägiger Erhärtung die Druckfestigkeit des Zementes besonders zu prüfen.

Um zu übereinstimmenden Ergebnissen zu gelangen, muß überall Sand von gleicher Korngröße und gleicher Beschaffenheit (Normensand) benützt werden.

Der deutsche Normensand wird aus einem tertiären Quarzlager der Braunkohlenformation in der Nähe von Freienwalde a. O. gewonnen. Der fast weiße Rohsand wird in einer Waschmaschine gewaschen und künstlich getrocknet. Die Absiebung des trockenen Sandes geschieht auf Schwingsieben, die pendelnd aufgehängt sind. Auf dem einen Siebe wird erst das Grobe abgesiebt und dann auf dem anderen das Feine. Von jeder Tagesfertigung wird eine Probe auf Korngröße und Reinheit im Königlichen Materialprüfungsamt Groß-Lichterfelde kontrolliert.

Zur Kontrolle der Korngröße dienen Siebe aus 0,25 mm dickem Messingblech mit kreisrunden Löchern von 1,350 und 0,775 mm Durchmesser[1]).

[1]) Die Kontrollsiebe fertigt das Königliche Materialprüfungsamt in Groß-Lichterfelde.

Der nach wiederholten Kontrollproben für gut befundene Normensand wird gesackt und jeder Sack mit der Plombe des Königlichen Materialprüfungsamtes verschlossen[1]).

Beschreibung der Proben zur Ermittelung der Festigkeit.

Da es darauf ankommt, daß bei Prüfung desselben Portlandzementes an verschiedenen Orten übereinstimmende Ergebnisse erzielt werden, so ist auf die genaue Einhaltung der im nachstehenden gegebenen Regeln ganz besonders zu achten.

Zur Erzielung richtiger Durchschnittszahlen sind für jede Prüfung mindestens 5 Probekörper anzufertigen.

Anfertigung der Portlandzement-Sandproben.
Herstellung des Normenmörtels (1 : 3) und der Probekörper für die Festigkeitsversuche.

a) Mischen des Mörtels.

Das Mischen des Mörtels aus 1 Gew.-T. Portlandzement + 3 Gew.-T. Normensand soll mit der Mörtelmischmaschine Bauart Steinbrück-Schmelzer Abb. 11 a, b, c wie folgt ge-

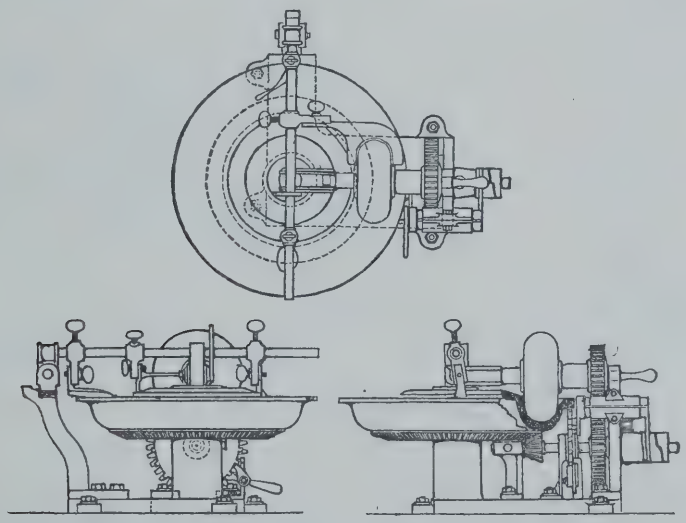

Abb. 11 a, b, c.
Mörtelmischer, Bauart Steinbrück-Schmelzer.

schehen: 400 g Portlandzement und 1200 g Normensand werden zunächst trocken mit einem leichten Löffel in einer Schüssel eine Minute lang gemischt. Dem trockenen Gemisch wird die vorher zu bestimmende Wassermenge zugesetzt. Die feuchte Masse wird sodann eine weitere Minute lang gemischt, dann in dem Mörtelmischer gleichmäßig verteilt und durch 20 Schalenumdrehungen bearbeitet.

b) Bestimmung des Wasserzusatzes.

Die Ermittelung des Wasserzusatzes zum Normenmörtel erfolgt unter Benutzung von Würfelformen in folgender Weise:

[1]) Den Verkauf dieses plombierten „Deutschen Normensandes“ hat das Laboratorium des Vereins Deutscher Portland-Zement-Fabrikanten, Karlshorst, übernommen.

Trockene Mörtelgemische in oben angegebener Menge werden beim ersten Versuch mit 128 g (8 v. H.) und wenn nötig beim zweiten Versuch mit 160 g (10 v. H.) Wasser angemacht und im Mörtelmischer, wie vorgeschrieben, gemischt.

850 bis 860 g des fertig gemischten Mörtels werden in die Druckform, deren Aufsatzkasten am unteren Rande mit zwei Nuten nach Abb. 12 a, b versehen ist, gefüllt und im Hammerapparat von Böhme mit Festhaltung (nach Martens) mit 150 Schlägen eingeschlagen.

Nach dem Verhalten des Mörtels beim Einschlagen ist zu beurteilen, welcher Grenze der richtige Wasserzusatz am nächsten liegt; danach sind die Versuche mit verändertem Wasserzusatz fortzusetzen.

Der Wasserzusatz ist richtig gewählt, wenn zwischen dem 90. und 110. Schlage aus einer der beiden Nuten Portlandzementbrei auszufließen beginnt.

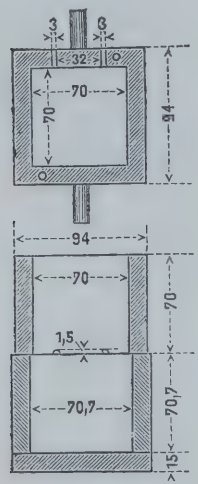

Abb. 12 a, b.
Druckform für die Versuchskörper. (Maße in mm.)

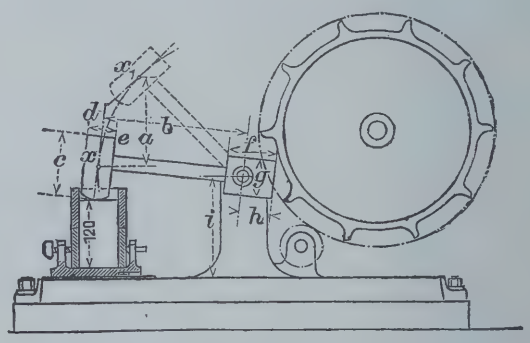

Abb. 13.
Hammerapparat (Bauart Böhme).

Das Mittel aus drei Versuchskörpern mit gleichem Wasserzusatz ist maßgebend und gilt für Anfertigung der Proben.

Der Austritt des Wassers erfolgt bei noch trockenen Aufsatzkästen langsamer als bei schon einmal benutzten, deshalb ist der Versuch bei erstmaliger Benutzung des Aufsatzkastens unsicher.

c) Herstellung der Probekörper.

Die Anfertigung der Probekörper aus Normenmörtel soll wie folgt geschehen:

850 bis 860 g des vorschriftsmäßig gemischten Mörtels werden in die Normalwürfelformen[1]) gebracht und im Hammerapparat (Bauart Böhme, s. Abb. 13) mit Festhaltung (Bauart Martens) unter Anwendung von 150 Schlägen eingeschlagen.

Die so hergestellten Probekörper werden an der Oberfläche mit einem Messer abgestrichen, geglättet und gezeichnet.

Die aus 400 g Portlandzement und 1200 g Normensand angemachte Mörtelmenge reicht zur Anfertigung von zwei Druckproben aus.

---

[1]) Die Formen müssen vor Ingebrauchnahme gut gereinigt und leicht geölt sein. Am besten verwendet man eine Mischung aus $^2/_3$ Rüböl und $^1/_3$ Petroleum.

Die Körper werden mit der Form auf nicht absaugender Unterlage in feucht gehaltene bedeckte Kästen gebracht und nach etwa 20 Stunden entformt; 24 Stunden nach erfolgter Herstellung kommen die Körper aus den Kästen unter Wasser von 15 bis 18° C.

Die für die Erhärtung unter Wasser bestimmten Probekörper dürfen erst unmittelbar vor der Prüfung dem Wasser entnommen werden. Das Wasser soll nicht mehr als 2 cm über den Probekörpern stehen und alle 14 Tage erneuert werden.

Die für die Erhärtung in Luft bestimmten Probekörper müssen einzeln freistehend auf dreikantigen Holzleisten im geschlossenen Raum zugfrei bei Zimmertemperatur gelagert werden.

Behandlung der Proben bei der Prüfung.

Bei der Prüfung soll, um einheitliche Ergebnisse zu erhalten, der Druck stets auf zwei Seitenflächen der Würfel ausgeübt werden, nicht aber auf Bodenfläche und die bearbeitete obere Fläche. Das Mittel aus den 5 Proben soll als die maßgebende Druckfestigkeit gelten.

Erheblich ausführlicher als die deutschen Normen sind die österreichischen Bestimmungen. Da sie z. T. nicht unerheblich von den deutschen abweichen und zudem in ihren Einzelausführungen als besonders lehrreich anzusprechen sind, mögen auch sie anschließend Aufnahme finden.

Bestimmungen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Zement[1]) in Österreich.

Begriffserklärung von Portlandzement.

Portlandzement ist ein Erzeugnis, welches aus natürlichen Kalkmergeln oder künstlichen Mischungen ton- und kalkhaltiger Stoffe durch Brennen bis zur Sinterung und darauf folgende Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit gewonnen wird und auf einen Gewichtsteil hydraulischer Bestandteile mindestens 1,7 Gewichtsteile Kalkerde enthält.

Zur Regulierung technisch wichtiger Eigenschaften des Portlandzementes ist ein Zusatz fremder Stoffe bis zu 2% des Gewichtes ohne Änderung des Namens zulässig.

Bemerkungen.

Portlandzement ist von grauer Farbe mit Übergängen ins Grüne oder Gelbliche. Mit Wasser angemacht, bindet Portlandzement entweder rasch, mittel oder langsam ab, wobei er sich im letzteren Falle meist nur unbedeutend erwärmt.

Das spezifische Gewicht des vollkommen scharf gesinterten Portlandzementes im frischen Zustande schwankt je nach dem Kalkgehalte, doch stellt es sich in der Regel gegen 3,10 und sein Glühverlust auf weniger als 2%. Das Gewicht in lose eingesiebtem Zustande beträgt per Liter ungefähr 1200 g. Beim Lagern des Portlandzementes verringert sich dieses Gewicht durch Aufnahme von Wasser und Kohlensäure, wogegen sein Glühverlust steigt. Daher hat der Bestimmung des spezifischen Gewichtes des Portlandzementes ein Ausglühen desselben vor dem Gasgebläse bis zur Erreichung des stets gleichbleibenden Gewichtes der Probe voranzugehen.

Portlandzement wird durch längeres Lagern meist langsamer bindend und gewinnt bei trockener zugfreier Aufbewahrung im allgemeinen an Güte. Bei nicht sorgfältiger und obiger Voraussetzung nicht entsprechender Lagerung wird die Güte des Portlandzementes ungünstig beeinflußt.

I. Verpackung und Gewicht.

Portlandzement ist nach dem Gewichte mit Preisstellung für 100 kg Brutto zu handeln.

Die Fässer sollen mit Normalgewicht, und zwar mit 200 kg Bruttogewicht per Faß in den

[1]) Aufgestellt vom „Österreichischen Ingenieur- und Architektenverein“ im Jahre 1907. Sie traten an die Stelle der Bestimmungen vom Jahre 1888.

Handel gebracht werden. Die Lieferung in Säcken ist zulässig und sollen diese ein Normalgewicht von 50 kg Brutto erhalten.

Schwankungen im Einzel-Bruttogewichte können bis zu 2% nicht beanstandet werden.

Das Gewicht der Packung darf bei Lieferung in Fässern nicht mehr als 5%, bei Lieferung in Säcken höchstens 1,5% des Bruttogewichtes betragen.

Auf den Fässern und Säcken sollen die Firma der betreffenden Fabrik, der Herstellungsort, das Wort „Portlandzement" und das Bruttogewicht verzeichnet sein. Auf Verlangen des Bestellers sollen die Säcke mit einer Plombe verschlossen sein, auf welcher die Fabriksfirma, der Herstellungsort und das Wort „Portlandzement" ersichtlich gemacht sind.

Bemerkungen.

Aus Rücksicht für die einfachere Übernahme und zur Hintanhaltung von Unzukömmlichkeiten erscheint es empfehlenswert, ein einheitliches Gewicht für die Packung der Fässer und Säcke, in denen Portlandzement geliefert wird, festzusetzen.

Übrigens steht es dem Fabrikanten frei, mit dem Käufer ein anderes als die angeführten Normalgewichte zu vereinbaren.

II. Abbindeverhältnisse.

Die Portlandzemente sind rasch-, mittel- oder langsambindend.

Unter raschbindenden Portlandzementen sind diejenigen verstanden, deren Erhärtungsbeginn an der Luft ohne Sandzusatz, vom Zeitpunkte der Wasserzugabe an gerechnet, innerhalb 10 Minuten eintritt. Fällt der Erhärtungsbeginn eines Portlandzementes über 30 Minuten hinaus, so ist derselbe als langsambindend zu bezeichnen.

Zwischen den rasch- und langsambindenden Portlandzementen werden die mittelbindenden eingereiht.

Raschbindende Portlandzemente sollen nur über besonderes Verlangen geliefert werden.

Bemerkungen.

Die Ermittelung des Erhärtungsbeginnes ist zur Bestimmung der Kategorie, in welche ein Portlandzement bezüglich seiner Abbindeverhältnisse einzureihen ist, von Wichtigkeit, und namentlich bei raschbindenden Portlandzementen ist die Kenntnis des Erhärtungsbeginnes notwendig, da bis zu dem Zeitpunkte, wo derselbe eintritt, der Portlandzement verarbeitet sein muß, soll nicht seine Bindekraft Einbuße erleiden.

Zur Bestimmung des Erhärtungsbeginnes und der Abbindezeit eines Portlandzementes dient die Normalnadel in Verbindung mit dem Konsistenzmesser.

Da die Menge des dem Portlandzemente zugesetzten Wassers die Abbindeverhältnisse erheblich beeinflußt, so ist der Zementbrei bei den Abbindeversuchen in einer bestimmten Konsistenz (Normalkonsistenz) herzustellen.

Der Apparat zur Bestimmung der Konsistenz besteht aus einem Gestelle, an dem eine Teilung in Millimetern angebracht ist. In einer Führung bewegt sich ein arretierbarer Metallstab, dessen oberes Ende eine Metallscheibe trägt, während am unteren Ende sich ein Messingstab von 1 cm Durchmesser (der Konsistenzmesser) befindet. Der Konsistenzmesser wiegt samt dem Führungsstabe und der Scheibe 300 g.

Die zum Apparate gehörige, zur Aufnahme des Zementbreies bestimmte Dose ist aus Hartgummi erzeugt, mißt 8 cm im Durchmesser und 4 cm in der Höhe. Beim Gebrauche wird dieselbe auf eine starke Glasplatte aufgesetzt, welche gleichzeitig den Boden der Dose bildet. Wird der Konsistenzmesser bis auf diese Bodenfläche herabgelassen, so zeigt der am Führungsstabe befindliche Zeiger auf den Nullpunkt der Teilung, sodaß der jedesmalige Stand der unteren Fläche des Konsistenzmessers über der Bodenfläche der Dose unmittelbar an der Teilung abgelesen werden kann.

Bei der Prüfung der Abbindeverhältnisse eines Portlandzementes ist folgender Vorgang einzuhalten.

Man rührt 400 g Portlandzement mit einer vorläufig angenommenen Wassermenge bei Langsam- und Mittelbindern durch drei Minuten, bei Raschbindern durch eine Minute, mit einem löffelartigen Spatel zu einem steifen Brei, welcher, ohne gerüttelt oder eingestoßen zu werden, in die Dose des Apparates gebracht und an der Oberfläche sorgfältig in gleicher Ebene mit dem oberen Rande der Dose abgestrichen wird. Die so gefüllte Dose wird mit der Glasplatte, auf der sie aufsitzt, unter den Konsistenzmesser gebracht, welcher sodann langsam auf die Oberfläche des Zementbreies aufgesetzt wird. Wenn der nunmehr der Wirkung seines eigenen Gewichtes überlassene, in den Zementbrei eindringende

Konsistenzmesser mit seinem unteren Ende in einer Höhe von 6 mm über der Bodenfläche stecken bleibt, also der Zeiger des Apparates auf den sechsten Teilstrich der Teilung zeigt, so ist ein Brei von Normalkonsistenz hergestellt.

Gelingt dies beim ersten Versuche nicht, so muß der Wasserzusatz so lange geändert werden, bis ein Brei von der geforderten Konsistenz zustande gebracht wurde. Hat man auf diese Weise den Wasserzusatz für einen Brei von normaler Konsistenz ermittelt, so schreitet man unter Anwendung dieser Konsistenz zur Ermittelung des Erhärtungsbeginnes und der Abbindezeit.

Zu diesem Zwecke wird in dem oben beschriebenen Apparate statt des Konsistenzmessers die Normalnadel, d. i. eine Stahlnadel von 1,13 mm Durchmesser (1 qmm Querschnitt), eingesetzt. Diese Nadel hat dieselbe Länge wie der Konsistenzmesser und hat samt Führungsstab, Scheibe und dem aufzulegenden Ergänzungsgewichte 300 g zu wiegen.

Es wird nun die Dose mit einem Brei von normaler Konsistenz in der vorher beschriebenen Weise gefüllt und die Nadel auf dessen Oberfläche behutsam aufgesetzt, was in kurzen Zeiträumen an verschiedenen Stellen des Kuchens wiederholt wird.

Die Nadel wird anfänglich den Kuchen bis auf die den Boden der Dose bildende Glasplatte durchdringen, bei den späteren Versuchen aber im erhärtenden Brei stecken bleiben.

Den Zeitpunkt, in welchem die Nadel den Kuchen nicht mehr in seiner ganzen Höhe zu durchdringen vermag, nennt man den Erhärtungsbeginn.

Ist der Kuchen endlich so weit erstarrt, daß die Nadel beim Aufsetzen keinen merkbaren Eindruck mehr hinterläßt, so ist der Portlandzement abgebunden, und die Zeit, welche vom Zeitpunkte der Zugabe des Wassers bis zu diesem Zeitpunkte verstreicht, heißt Abbindezeit.

Da das Abbinden von Portlandzement durch die Temperatur der Luft und des zur Verwendung gelangenden Wassers beeinflußt wird, indem höhere Temperaturen das Abbinden beschleunigen, niedere es dagegen verzögern, so sollen die Abbindeversuche bei einer Temperatur des Wassers und der Luft von 15—18° C vorgenommen werden.

Werden die Abbindeproben jedoch ausnahmsweise unter anderen Verhältnissen vorgenommen, so sind die bezüglichen Wasser- und Lufttemperaturen anzugeben. Während des Abbindens dürfen langsam- und mittelbindende Portlandzemente sich nicht wesentlich erwärmen, dagegen kann raschbindender Portlandzement eine merkliche Temperaturerhöhung aufweisen.

III. Volumenbeständigkeit.

Portlandzement muß sowohl an der Luft als auch unter Wasser volumenbeständig sein.

Bemerkungen.

Portlandzement ist dann als volumenbeständig anzusehen, wenn derselbe, mit Wasser ohne Sandzusatz angemacht, an der Luft oder unter Wasser die beim Abbinden angenommene Form dauernd beibehält.

Erleiden Portlandzemente nach dem Abbinden eine Volumenvergrößerung, welche unter allmählicher Lockerung des zuerst gewonnenen Zusammenhanges eine Zerklüftung der Zementmasse herbeiführt und auch mit deren gänzlichem Zerfalle endigen kann, so bezeichnet man diese Erscheinung als „Treiben des Zementes“. Der Beginn des Treibens tritt nicht sofort ein, sondern erst in kürzerer oder längerer Zeit nach dem Abbinden.

Ein mit einer solchen Eigenschaft behaftetes Bindemittel gefährdet die damit hergestellten Bauten in bedeutendem Maße; es muß daher vom Portlandzemente die Volumenbeständigkeit gefordert werden.

Da manche Portlandzemente wohl unter Wasser, aber nicht an der Luft volumenbeständig sind und auch das umgekehrte Verhalten nicht ausgeschlossen ist, so ist Portlandzement nach beiden Richtungen hin zu prüfen.

a) Volumenbeständigkeit an der Luft.

Zur Prüfung, ob ein Portlandzement an der Luft volumenbeständig ist, dient die Darrprobe in Verbindung mit der Kuchenprobe unter Wasser.

Die Darrprobe wird in folgender Weise ausgeführt: Man rührt den Portlandzement ohne Sandzusatz mit der bei der Vornahme der Abbindeproben ermittelten Wassermenge zu einem Brei von Normalkonsistenz an, breitet denselben auf ebenen Glas- oder Metallplatten in Kuchen von ca. 10 cm Durchmesser und ca. 1 cm Dicke aus, und hinterlegt dieselben, um die Entstehung von Schwindrissen zu vermeiden, am besten in einem feuchtgehaltenen Kasten, wo die Kuchen vor Zugluft und Einwirkung der Sonnenstrahlen geschützt sind. Nach 24 Stunden, jedenfalls aber erst nach erfolgtem Abbinden,

werden die auf den Metallplatten ruhenden Zementkuchen in einem Trockenschranke einer Temperatur ausgesetzt, welche allmählich von der Lufttemperatur bis auf 120° C gesteigert und auf dieser Höhe durch zwei bis drei Stunden, für alle Fälle aber eine halbe Stunde über den Zeitpunkt hinausgehalten wird, bei welchen ein sichtbares Entweichen von Wasserdämpfen aufgehört hat.

Die Kuchen sollen in dem Trockenkasten nicht vertikal übereinander, sondern treppenförmig nebeneinander geordnet werden.

Zeigen die Kuchen nach dieser Behandlung Verkrümmungen oder mit Verkrümmungen verbundene, gegen die Ränder hin sich erweiternde Risse von radialer Richtung, so sind diese Risse als Treibrisse anzusehen und ist der fragliche Portlandzement als an der Luft nicht volumenbeständig zu bezeichnen. Bei Volumenbeständigkeitsproben an der Luft treten infolge zu raschen Austrocknens durch Volumenverminderung manchmal Rißbildungen auf, welche als Schwindrisse bezeichnet werden und von den Treibrissen wohl zu unterscheiden sind. Die Schwindrisse erscheinen gewöhnlich als gegen die Mitte hin sich erweiternde Risse ohne bestimmte Richtung.

Die durch die Anwesenheit von mehr als 3% wasserfreiem, schwefelsaurem Kalk (oder entsprechendem Gehalt an ungebranntem Gips) verursachte Volumenunbeständigkeit (das sogenannte Gipstreiben) wird jedoch durch die Darrprobe nicht angezeigt, und es ist daher, wenn ein Portlandzement diese Probe besteht, jedenfalls noch das Ergebnis der gleichzeitig vorgenommenen Kuchenprobe unter Wasser, welche einen schädlichen Gehalt an Gips zuverlässig in kurzer Zeit anzeigt, abzuwarten. Fällt auch diese Probe günstig aus, so kann der untersuchte Portlandzement als volumenbeständig an der Luft bezeichnet werden.

b) Volumenbeständigkeit unter Wasser.

Die Untersuchung eines Portlandzementes bezüglich seiner Volumenbeständigkeit unter Wasser erfolgt mittelst eines unter Wasser gelegten Kuchens aus Portlandzement ohne Sandzusatz (Kuchenprobe).

Zu diesem Zwecke wird der Portlandzement mit Wasser zu einem Brei angerührt und auf ebenen Glasplatten zu zwei Kuchen ausgegossen, welche ca. 10 cm Durchmesser haben, in der Mitte ca. 1 cm dick sind und gegen die Ränder hin auslaufen.

Der Wasserzusatz ist hierbei um ca. 1% des Zementgewichtes größer zu nehmen als für die Normalkonsistenz bei den Abbindeproben ermittelt wurde, damit der Brei leichter zu Kuchen auslaufe.

Die so erhaltenen Kuchen werden, um die Entstehung von Schwindrissen zu vermeiden, an einem vor Zugluft und Einwirkung der Sonnenstrahlen geschützten Orte, am besten in einem feuchtgehaltenen Kasten, aufbewahrt und nach 24 Stunden, jedenfalls aber erst nach erfolgtem Abbinden, samt den Glasplatten unter Wasser gelegt und daselbst durch mindestens 27 Tage belassen.

Zeigen sich während dieser Zeit an den Kuchen Verkrümmungen, oder gegen die Ränder hin sich erweiternde Kantenrisse von mehr oder weniger radialer Richtung, so deutet dies unzweifelhaft auf Treiben des Portlandzementes hin. Bleiben die Kuchen jedoch unverändert, so ist der Portlandzement als unter Wasser volumenbeständig anzusehen.

Zusatz zu a) und b).

Bei zu dünn auslaufenden Rändern der Kuchen, welche bei deren Herstellung zu vermeiden sind, können feine Risse auftreten, welche, wenn die Kuchen eben geblieben sind, nicht Treiberscheinungen, sondern lediglich Spannungs- oder Schwindrisse darstellen.

IV. Feinheit der Mahlung.

Portlandzement soll so fein als möglich gemahlen sein.

Die Feinheit der Mahlung ist mittelst eines Siebes von 4900 Maschen per 1 qcm und 0,05 mm Drahtstärke und eines solchen von 900 Maschen per 1 qcm und 0,10 mm Drahtstärke zu prüfen.

Der Sieberückstand darf auf dem 4900-Maschensieb nicht mehr als 30% und auf dem 900-Maschensieb nicht mehr als 5% betragen.

Bemerkungen.

Da Portlandzement hauptsächlich mit Sand und Schotter verarbeitet wird, die Festigkeit des Zementmörtels sowie sein Anhaftungsvermögen und seine Wasserundurchlässigkeit mit der Feinheit der Mahlung des Zementes wachsen und das Grobe des Mahlgutes die Rolle von Sandzusätzen spielt, so ist

eine möglichst feine Mahlung anzustreben, und die Feinheit derselben mittelst der vorgeschriebenen Siebe einheitlich zu prüfen.

Zu jeder solchen Siebeprobe sind 100 g Portlandzement zu verwenden.

V. Bindekraft.

Die Bindekraft von Portlandzement soll durch Prüfung der Festigkeitsverhältnisse an einer Mischung mit Sand ermittelt werden.

Als normale Mischung gilt das Gemenge von einem Gewichtsteile Portlandzement mit drei Gewichtsteilen Normalsand.

Die Prüfung soll auf Druck- und Zugfestigkeit nach einheitlicher Methode an Probekörpern von gleicher Gestalt und gleichem Querschnitte und mit richtig konstruierten Apparaten geschehen.

Die Zerreißproben sind an Probekörpern von Geigen-Form, welche an der Bruchfläche 5 qcm Querschnitt (2,25 cm Länge und 2,22 cm Breite) besitzen, die Druckproben an Würfeln von 50 qcm Fläche (7,07 cm Seitenlänge) vorzunehmen.

Sämtliche Probekörper sind die ersten 24 Stunden nach ihrer Anfertigung an der Luft, die übrige Zeit bis zur Probevornahme unter Wasser von 15—18° C aufzubewahren.

Die maßgebende, wertbestimmende Probe ist die Druckprobe nach 28tägiger Erhärtungsdauer; als Kontrolle für die Gleichmäßigkeit der gelieferten Ware dient die Zugprobe nach 7- und 28tägiger Erhärtungsdauer.

Bemerkungen.

Da Portlandzement bei Bauausführungen fast ausschließlich in der Mischung mit Sand verwendet wird, so ist es notwendig, die Bindekraft desselben in einer solchen Mischung zu prüfen.

Als geeignetes Verhältnis werden drei Gewichtsteile Sand zu einem Gewichtsteile Portlandzement angenommen, da hierbei der Grad der Bindefähigkeit bei verschiedenen Portlandzementen in hinreichendem Maße zum Ausdrucke gelangt.

Erfahrungsgemäß übt die chemische und physikalische Beschaffenheit des zur Mörtelmischung verwendeten Sandes einen bedeutenden Einfluß auf die Festigkeitsverhältnisse des Mörtels aus; es ist daher, um zu übereinstimmenden und vergleichbaren Ergebnissen zu gelangen, unbedingt erforderlich, daß zur Erzeugung aller Probekörper für die Bindekraft immer Sand von gleicher Beschaffenheit, Korngröße und gleichem Gewichte zur Anwendung komme.

Dieser Normalsand wird dadurch gewonnen, daß man möglichst reinen, in der Natur vorkommenden Quarzsand wäscht und trocknet, mittelst eines Siebes von 64 Maschen per 1 qcm und 0,40 mm Drahtstärke die gröbsten Teile ausscheidet und sodann mittelst eines Siebes von 144 Maschen per 1 qcm und 0,30 mm Drahtstärke die feinsten Teile entfernt. Der Rückstand auf dem letzteren Siebe ist der Normalsand.

Das Gewicht dieses Sandes soll im lose eingesiebten Zustande (s. weiter unten) 1740—1760 g per Liter betragen.

Als maßgebende Probe wird die Druckprobe deswegen festgesetzt, weil der Mörtel bei Bauausführungen zumeist auf Druck beansprucht wird und nach den gemachten Erfahrungen das Verhältnis zwischen Zug- und Druckfestigkeit bei verschiedenen Portlandzementen ein verschiedenes ist, somit von der Zugfestigkeit nicht mit Sicherheit auf die Druckfestigkeit geschlossen werden kann. Die Ermittelung der Festigkeit bei der Druckprobe soll erst nach 28tägiger Erhärtung vorgenommen werden, weil bei kürzerer Beobachtungsdauer die Druckfestigkeit eines Portlandzementes nicht genügend zum Ausdrucke kommt.

Von ganz besonderem Werte wäre es, wenn dort, wo dies zu ermöglichen ist, die Festigkeitsproben auf längere Zeit ausgedehnt würden, da es vorkommt, daß Portlandzemente, welche anfangs geringere Festigkeitsziffern ergeben, in späterer Zeit die Festigkeiten anderer Portlandzemente erreichen oder dieselben sogar überholen.

Die Kontrolle über die gleichmäßige Güte des gelieferten Portlandzementes kann in einfacher Weise durch die Erprobung auf Zugfestigkeit vorgenommen werden. Die Zugfestigkeit soll an Probekörpern von 7- und 28tägiger Erhärtung ausgeführt werden, erstere um möglichst bald zu einem Ergebnisse zu gelangen, letztere, um den entsprechenden Fortschritt der Erhärtung kennen zu lernen.

Den Versuchsergebnissen der Festigkeitsproben ist das jeweilige Gewicht des Portlandzementes und des Normalsandes per Liter im lose eingesiebten Zustande beizufügen, zu welchem Zwecke Portlandzement und Sand in ein 1 Liter fassendes zylindrisches Blechgefäß von 10 cm Höhe eingesiebt werden. Hierbei ist das Sieb von 64 Maschen per 1 qcm und 0,40 Drahtstärke zu verwenden und das-

selbe während des Siebens in einer Entfernung von ca. 15 cm über dem oberen Rande des Litergefäßes zu halten.

Das Sieben ist solange fortzusetzen, bis sich ein Kegel gebildet hat, der mit seiner Grundfläche die ganze obere Öffnung des Litergefäßes bedeckt; dieser Kegel ist schließlich mit einem geradlinigen Streicheisen vollkommen eben abzustreichen.

Während der ganzen Dauer dieser Verrichtung ist jede Erschütterung des Litergefäßes sorgfältig zu vermeiden.

VI. Zug- und Druckfestigkeit.

In Normalmörtelmischung sollen Portlandzemente nach 7 Tagen Erhärtung (die ersten 24 Stunden an der Luft, die folgenden 6 Tage Tage unter Wasser) und nach 28 Tagen Erhärtung (die ersten 24 Stunden an der Luft, die folgenden 27 Tage unter Wasser) die nachstehenden Minimalfestigkeiten erreichen.

Kategorie	Erhärtungsdauer	Minimal- Druck- Festigkeit in kg per qcm	Minimal- Zug- Festigkeit in kg per qcm
Langsam und mittel bindende Portlandzemente	nach 7 Tagen	—	—
	„ 28 „	180	18
Rasch bindende Portlandzemente	„ 7 „	—	8
	„ 28 „	120	12

Das Mittel aus den vier besten Ergebnissen von 6 geprüften Körpern hat als die mittlere Festigkeit in der betreffenden Altersklasse zu gelten.

Bemerkungen.

1. Herstellung der Probekörper.

Die Probekörper für die Zug- und Druckfestigkeit sind stets auf maschinellem Wege zu erzeugen.

Für jede Festigkeitsprobe sind per Altersklasse sechs Probekörper herzustellen.

Die vorerst trocken durcheinander gemengte Mischung von Portlandzement und Sand ist mit der weiter unten vorgeschriebenen, bzw. ermittelten Menge Wasser, und zwar vom Zeitpunkte der Wasserzugabe bei rasch bindenden Portlandzementen durch eine Minute, bei mittel oder langsam bindenden Portlandzementen durch drei Minuten, tüchtig durchzuarbeiten und sofort auf einmal in die gehörig gereinigten und mit Wasser benetzten Formen zu füllen; ein nachträgliches Aufbringen von Mörtel ist zu vermeiden.

Die Herstellung der Probekörper muß unter allen Umständen vollendet sein, bevor der Erhärtungsbeginn des Portlandzementes eingetreten ist; es ist daher namentlich bei Raschbindern in dieser Richtung besondere Vorsicht und Sorgfalt geboten.

Um Ergebnisse zu erhalten, welche einen Vergleich der Zug- und Druckfestigkeit zulassen, ist es notwendig, daß die Probekörper für beide Festigkeiten in derselben Konsistenz und mit annähernd derselben Dichte angefertigt werden, was einerseits durch im Verhältnisse zur Trockensubstanz gleichen Wasserzusatz, andererseits durch eine bei der Verdichtung des Mörtels angewendete gleiche Arbeit per Gewichtseinheit der Trockensubstanz erreicht wird.

Zur Ermittelung des richtigen Wasserzusatzes werden 800 g gut gemengter, trockener Normalmörtelmischung mit einer vorläufig angenommenen Wassermenge gleichmäßig angefeuchtet und bei Raschbindern eine Minute, bei Mittel- und Langsambindern drei Minuten lang durchgearbeitet.

Der so gewonnene Mörtel wird auf einmal in die Form des zur Herstellung der Druckprobekörper dienenden Rammapparates gefüllt und durch 150 Schläge eines 3,2 kg schweren Fallgewichtes oder Hammers aus einer Höhe von 0,50 m verdichtet.

Tritt nach ungefähr 100 Schlägen in der Fuge zwischen Form und Aufsatzkasten eine mässige Absonderung von Wasser auf, so gilt dies als Zeichen, daß die Wassermenge richtig gewählt worden

ist. Andernfalls ist der Versuch mit einer jedesmal geänderten Wassermenge bis zur Erreichung dieser Wasserabsonderung zu wiederholen.

Die derart ermittelte Wassermenge gibt die Normalmörtelkonsistenz, mit welcher alle Probekörper anzufertigen sind.

Die Arbeit, welche bei der Erzeugung der Probekörper zu leisten ist, wird mit 0,3 kgm per 1 g Trockensubstanz festgesetzt.

Die Probekörper sind einzeln anzufertigen, und es werden für jeden Probekörper der Druckfestigkeit 800 g, für jeden Probekörper der Zugfestigkeit 200 g trockene Normalmischung mit der auf obige Weise ermittelten Wassermenge angerührt.

Der so erhaltene Normalmörtel wird auf einmal in die mit einem Füllkasten versehene Form gefüllt und mittelst eines genau in die Form passenden Kernes bei den Druckprobekörpern durch 150 Schläge eines aus einer Höhe von 0,50 m fallenden, 3,2 kg schweren Rammklotzes oder Hammers, bei den Zugprobekörpern jedoch durch 120 Schläge eines 0,25 m hoch herabfallenden, 2 kg schweren Rammklotzes oder Hammers, verdichtet. Unmittelbar nach dem letzten Schlag entfernt man den Kern und den Aufsatz des Formkastens, streicht den überschüssigen, die Form überragenden Mörtel mit einem Messer ab, glättet die Oberfläche und nimmt den Probekörper aus der Form, sobald der Mörtel vollständig abgebunden ist.

Die zur Herstellung der Probekörper dienenden Apparate sollen auf fester, nicht federnder Unterlage, am besten auf Mauerwerk ruhen.

Bei genauer Einhaltung obiger Vorschriften und namentlich der auf die Trockensubstanz bezogenen gleichen Arbeit wird sowohl für den Zug- als Druckkörper eine annähernd gleiche Dichte erzielt.

Die Dichte der Probekörper ist sofort nach ihrer Herstellung zu erheben und deren Durchschnittsziffer sowohl bezüglich der Druckprobekörper als auch der Zugprobekörper den Versuchsergebnissen beizufügen.

2. Aufbewahrung der Probekörper.

Nach der Anfertigung sind die Probekörper die ersten 24 Stunden an der Luft, und zwar, um sie vor ungleichmäßiger Austrocknung zu schützen, in einem geschlossenen, feucht gehaltenen Kasten, die übrige Zeit aber, bis unmittelbar vor Ausführung der Proben, unter Wasser von 15—18° C aufzubewahren.

Das Wasser, in welchem dieselben erhärten, ist in den ersten vier Wochen alle acht Tage zu erneuern, und ist darauf zu achten, daß die Probekörper immer von Wasser bedeckt sind. Bei Proben, welche über diese Zeit hinaus aufbewahrt werden, genügt es, das durch Verdunstung verloren gegangene Wasser von Zeit zu Zeit durch frisches Wasser zu ersetzen, so daß die Proben immer vollständig unter der Wasseroberfläche bleiben.

3. Vornahme der Festigkeitsproben.

Die Probekörper sind sofort nach der Entnahme aus dem Wasser zu prüfen. Für jede Altersklasse sind sowohl die Druck- als auch die Zugfestigkeit stets an je sechs Probekörpern zu bestimmen.

Da die Dauer der Belastung bei der Zugprobe von Einfluß auf das Ergebnis ist, so soll bei der Prüfung auf Zugfestigkeit die Zunahme der Belastung während des Versuches 100 g per Sekunde betragen.

Bei dem Einspannen der Probekörper ist darauf zu achten, daß der Zug genau in einer zur Bruchfläche senkrechten Richtung stattfindet.

Bei der Prüfung auf Druckfestigkeit soll, um einheitliche Ergebnisse zu erzielen, der Druck stets auf zwei Seitenflächen der Würfel (im Sinne der Herstellung) ausgeübt werden, nicht aber auf die Bodenfläche und die bearbeitete obere Fläche.

Schlußbemerkung.

Diese für die Prüfung von Portlandzement aufgestellten Bestimmungen können **ausschließlich** nur zur Prüfung des Portlandzementes verwendet werden.

Die nach diesen Bestimmungen ermittelten Zug- und Druckfestigkeiten geben nur Vergleichswerte für die **Kraftentfaltung** der verschiedenen Portlandzemente, welche Werte überdies nicht für sich allein, sondern nur unter entsprechender Würdigung aller übrigen Ergebnisse der bestimmungsgemäßen Prüfung zur Beurteilung der Güte eines Portlandzementes benutzt werden dürfen.

Neben Deutschland und Österreich haben ferner Normen für Portlandzement die Vereinigten Staaten von Nordamerika, England, Japan, die Schweiz (zugleich gültig für sämtliche hydraulischen Bindemittel), Rußland usw. Es sei hervorgehoben, daß für alle diese Bestimmungen die zuerst in Deutschland geschaffenen Normen vorbildlich gewesen sind (vgl. die Anm. auf den S. 619—622).

Von **besonderen Eigenschaften** des Portlandzementes bzw. des aus ihm hergestellten Mörtels und Betons, welche in den deutschen Normen keine Berücksichtigung gefunden haben oder hier nur kurz behandelt sind, seien erwähnt:

1. Seine Farbe und Struktur. Das scharfe, harte Pulver hat meist grünlichgraue oder bläulichgraue Färbung; eine bräunliche oder gelbliche Farbe deutet auf zu schwachen Brand oder zu hohen Tongehalt, d. h. minder guten Zement hin. Unter dem Mikroskop betrachtet, zeigt der Portlandzement kristallinische, schieferartige Blättchen, die (im Gegensatz zu dem stets runden Korn des Romanzementes) immer scharfeckig und -kantig sind. Abgebundener guter Zement sieht aschgrau bis grau aus; auch hier ist eine gelbe Verfärbung Zeichen minderwertigen Erzeugnisses.

2. Die chemische Art des Erstarrens des Portlandzementes ist noch nicht vollkommen aufgeklärt; jedoch steht fest, daß beim Erhärten der Portlandzement Wasser in chemischer Bindung aufnimmt und sich gleichzeitig Kalkhydrat ausscheidet, das beim Erhärten an der Luft zu einem überwiegenden Teile in $CaCO_3$ übergeht. Die Klinker bestehen wahrscheinlich aus einem Konglomerat von Dikalziumsilikat und Trikalziumaluminat (4 : 3), von denen die Hydratisation des ersteren allein das Abbinden bedingt und damit den Vorgang des Erhärtens einleitet, während der zweite Bestandteil für Abbinden und Erhärten von wesentlich geringerer Bedeutung ist.

Während des Abbindens des Zementes soll dieser durchaus der Ruhe überlassen bleiben, damit durch feste Anlagerung der Zementteilchen aneinander und am Sande eine dichte Masse entsteht. Deshalb ist die Erhärtung des Zementes eine weniger gute in bewegtem Wasser und unter Wasserdruck; wenn hier auch die chemische Erhärtung sich angenähert normal vollzieht, so wird doch der physikalische Vorgang des Verkittens mehr oder weniger gestört.

Während des Abbindens und in den ersten Tagen der Erhärtung ist der Zement vor dem Austrocknen zu schützen, da, wie vorerwähnt, Wasser und zwar in erheblicher Menge zu seiner Erhärtung notwendig ist. Diese schreitet schnell vorwärts, namentlich in der ersten Zeit, und findet i. d. R. erst nach Jahren ihren Abschluß. Daß die Festigkeitszunahme an ziemlich gleichbleibende Verhältnisse gebunden ist und man demgemäß eine Normalfestigkeitsprobe nach 28tägiger Erhärtung einführen konnte, wurde schon in den „Normen für Lieferung usw.“ auf S. 625 hervorgehoben.

Einen weiteren Einfluß auf das Erhärten von Portlandzement üben aus: die Art des Abbindens, an der Luft oder unter Wasser (3) die Mahlung des Zementes (4), endlich die Wassermenge (5) und Beschaffenheit, letztere namentlich in chemischer Hinsicht (6).

3. Mit genügender Menge von Wasser angemacht und ausreichend feucht erhalten, erhärtet der Zementmörtel auch an der Luft, und zwar i. d. R. sogar besser als unter Wasser. Wenn auch Zementmörtel, der an der Luft erhärtet, hierbei durch etwaige Aufnahme von Regenwasser zunächst etwas in seiner Festigkeit zurückgeht, so nimmt er doch hieran nach dem Austrocknen wieder besonders rasch zu.

4. Je feiner die Zementmahlung ist, um so günstiger werden der Abbinde- und Erhärtungsvorgang beeinflußt werden, weil alsdann die einzelnen Zementteilchen der Einwirkung des Wassers besser und gleichmäßiger ausgesetzt sind. Hierbei ist aller-

dings zu berücksichtigen, daß die feine Mahlung nicht immer als ein Zeichen besonderer Güte des Zementes anzusehen ist, weil weichere, weniger gute Zemente, sich naturgemäß leichter fein mahlen lassen als härtere, bessere; auch sei hervorgehoben, daß die Feinheit der Mahlung immerhin dadurch begrenzt wird, daß sehr feine Zemente leicht knollig und stückig werden und auch Zementmörtel an der Luft, besonders in fetter Mischung, um so eher Schwindrisse zeigt, je feiner die Mahlung ist.

5. Zement erlangt im allgemeinen eine um so größere Festigkeit, je geringer die Menge seines Anmachewassers ist, ein Gesetz, das sowohl für Mörtel als auch für Beton gilt, aber voraussetzt, daß überhaupt soviel Anmachewasser verwendet wird, daß ein gutes Durcharbeiten möglich ist und sich hierbei — gleichwie beim Stampfen — Wasser auf der Oberfläche bildet. Daß Mörtel usw., mit überflüssig viel Wasser angemengt, zu weniger dichtem Gefüge führt, erklärt sich daraus, daß hier das im Inneren verbleibende Mehr an Wasser beim Erhärten verdunsten muß und somit Poren zurückläßt; dementsprechend nimmt auch die Festigkeit mit vergrößertem Wassergehalte ab. Einen Überblick über diese Verhältnisse gewärt die nachfolgende Zusammenstellung[1]):

Erhärtungsdauer	Anmenge-Wassermenge 10 % Zug-Festigkeit in kg/qcm	10 % Druck-Festigkeit in kg/qcm	12 % Zug-Festigkeit in kg/qcm	12 % Druck-Festigkeit in kg/qcm	15 % Zug-Festigkeit in kg/qcm	15 % Druck-Festigkeit in kg/qcm
7 Tage	20,0	203	13,8	108	10,0	55
28 „	26,1	285	22,9	160	18,3	100
90 „	28,6	355	25,8	208	23,0	150
180 „	32,1	380	26,8	225	22,6	170

Es zeigt sich der sehr erhebliche Einfluß des Wassers namentlich auf die Druckfestigkeit; es bedarf längerer Zeit, ehe ein mit viel Wasser angemachter Mörtel eine ausreichende Druckfestigkeit erlangt.

6. In gleichem Maße wirkt auch die chemische Beschaffenheit des Wassers auf die Erhärtung und Festigkeit, namentlich auf die dauernde Bewährung von Mörtel und Beton aus Portlandzement ein. Für praktische Verhältnisse kommt hierfür die Verwendung von Portlandzement zu Bauten im Seewasser in erster Linie in Frage[2]). Hier ist nicht selten die Zerstörung der Bauten innerhalb einer verhältnismäßig kurzen Zeit beobachtet worden, wobei allerdings meist nicht der Portlandzement als solcher, sondern fehlerhafte Konstruktion der Bauwerke, unrichtige oder unzweckmäßige Mischungen, mangelhaftes Einbringen von Beton oder Mörtel unter Wasser usw. die Schuld tragen. Neben den chemischen Einflüssen des Meerwassers auf den Zement, wobei namentlich die Einwirkung von Chlormagnesium und Magnesiumsulfat[3]) in Frage zu ziehen ist, wirkt,

[1]) Diese Tabelle ist entnommen aus: Der Portlandzement und seine Anwendung im Bauwesen verfaßt im Auftrage des Vereins Deutscher Portland-Zement-Fabrikanten von F. W. Büsing und Dr. C. Schumann. 3. Auflage. Berlin 1905. S. 24. — 4. Auflage. Berlin 1912. S. 27. Komm.-Verl. Deutsche Bauzeitung. — Zu den hier angeführten Versuchen war gewöhnlicher Mauersand verwendet.

[2]) Vergl. u. a.: Der Portlandzement auf Grund chemischer und petrographischer Forschung von Dr. O. Schmidt in Stuttgart. Verlag: Konrad Wittmann in Stuttgart. 1906.

[3]) Diese Einwirkung erstreckt sich vornehmlich auf das im Zement enthaltene Kalkhydroxyd und die Aluminate. In Verbindung mit Kalk bilden sich chlorkalziumhaltige Lösungen, die etwa vorhandenen freien Kalk weit schneller und gewaltsamer als reines Wasser ablöschen und hierbei zur Entstehung

wie R. Dyckerhoff nachgewiesen, die größere oder geringere Dichte des Zementmörtels bzw. Betons in sehr erheblichem Maße ein; demgemäß sind im allgemeinen magere Mörtel usw. für Seebauten nicht geeignet und hier nur fette zur Verwendung zu bringen (1:2). Daneben ist man bestrebt, den Gehalt des erhärteten Zementes an Tonerde und Kalkhydrat zu vermindern, da erstere zu Treiberscheinungen[1]) führen kann, letzteres durch Meerwasser am schnellsten angegriffen wird. Als tonerdearme Zemente werden (nach Anregungen von Dr. Michaëlis) die „Erzzemente“ empfohlen, die sich bisher bei den auf der Insel Sylt[2]) im großen ausgeführten praktischen Versuchen auch gut bewährt haben, während zur Verminderung des Gehaltes an Kalkhydrat das Zumischen von Stoffen zweckdienlich ist, welche, reich an reaktionsfähiger Kieselsäure, den Kalk in kieselsauren Kalk überführen können. Als ein derartiger Stoff ist in erster Linie Traß, daneben — untergeordnet — Hochofenschlacke zu nennen, wenn auch mit ersterer Zumischung eine ziemlich große Menge von Anmachewasser bedingt ist. Auch bei den auf Sylt vorgenommenen, von den Staatsbehörden und den Interessenten gemeinsam durchgeführten, großzügigen Versuchen über die Bewährung von Portlandzement im Meerwasser und die zweckmäßigen Zusätze[3]) hat sich gezeigt, daß unter bestimmten Verhältnissen eine Verbesserung des Zementmörtels durch Traßzusatz erreicht werden kann; dies haben namentlich die Betonkörper fetter, d. h. in Seewasser normaler Mischung erkennen lassen, welche dem freien Meere durch 5 Jahre hindurch ausgesetzt waren, bei denen also eine dauernd gleichstarke chemische Einwirkung stattfand. Zu dem gleichen Ergebnisse gelangten auch die im Jahre 1898 abgeschlossenen Vorversuche zu den heute noch nicht beendeten Hauptversuchen auf Sylt[4]).

7. Die Volumbeständigkeit des Portlandzementes (vgl. S. 624) ist bei richtiger Zusammensetzung und guter Herstellung bei den deutschen Erzeugnissen eine durchaus

feiner Risse führen können. Hierdurch erklärt es sich u. a., daß frisch hergestellte Versuchskörper, in Meerwasser oder Chlorkalziumlösungen gebracht, schon durch ganz geringe Mengen von freiem Kalk zerstört werden können.

[1]) Magnesiumsulfat bewirkt in Zement eine Abscheidung von Magnesiumhydrat und die Bildung von Kalziumsulfat, das zu Treiberscheinungen Veranlassung geben kann. Diese Gefahr besteht namentlich bei Zementen, welche neben hohem Tonerdegehalt hohen Kalkgehalt aufweisen. (Dr. Schmidt, Anm. 2, S. 637).

[2]) Vergl. weiter unten.

[3]) Vergl. Protokoll der Verhandlungen des Vereins Deutscher Portlandzementfabrikanten. 1910. S. 174 u. ff., sowie Heft 5 und 6 der Mitteilungen aus dem Kgl. Materialprüfungsamt Groß-Lichterfelde-West. 1909.

[4]) Vergl. hierzu die Ausführungen von Gary in den Mitteilungen aus den Kgl. technischen Versuchsanstalten 1900. Ergänzungsheft 1 und die Protokolle des Vereins Deutscher Portland-Zement-Fabrikanten 1900 und 1901.

In dem Werke von Schumann und Büsing (3. Auflage) sind die Erfahrungen, die bei diesen Vorversuchen mit dem Traßzusatze gemacht wurden, folgendermaßen zusammengefaßt:

„Bei Erhärtung in Seewasser ist die Festigkeit der Zement-Traßmörtel nach 7 Tagen erheblich geringer als die der Mörtel ohne Zuschläge. Schon nach einem Monat überholen indessen die Mörtel mit Traßzuschlag die Zugfestigkeit des reinen Zementmörtels, während die Druckfestigkeit der Traßmörtel noch hinter der der reinen Zementmörtel zurückbleibt, wenn sie ihr auch nach einem Jahre schon sehr nahe kommt. Bei Erhärten der Zementtraßmörtel in Seewasser wird die Festigkeit der Zugprobekörper mehr verbessert als die der Druckprobekörper. Die Oberflächen scheinen härter zu sein als der Kern. Nun sind die kleineren Zugprobekörper der Einwirkung des Seewassers in höherem Maße ausgesetzt als die größeren Druckprobekörper; der stärkeren Wirkung des Seewassers entspricht also bei den Zementtraßmörteln eine Erhöhung der Festigkeit. Es erscheint möglich, durch Zusätze von Traß innerhalb gewisser Grenzen zu Portlandzementen diese für die Benutzung im Seewasser geeigneter zu machen“. (4. Auflage. S. 44.)

sichere. Die geringen Anfangsspannungen, welche sich durch den Abbindevorgang und die diesen begleitende Formänderung in Mörtel und Beton zeigen, sind so gering, daß sie in der Praxis nicht berücksichtigt zu werden brauchen; sie sind dadurch bedingt, daß Portlandzementmörtel usw., in Wasser erhärtend, sich ausdehnt, also sein Volumen vergrößert, während bei Lufterhärtung ein Zusammenziehen, ein Schwinden eintritt. Diese Verhältnisse sind nicht unwichtig zur Erklärung mancher Erscheinungen im Gebiete des Eisenbetonbaues (z. B. der scheinbar vergrößerten Dehnung bewehrten Betons gegenüber unbewehrten), da hier durch die Eiseneinlagen, die beim Abbinden keinerlei Formänderung erfahren, infolge der Haftung zwischen Beton und Eisen in Mitleidenschaft gezogen und somit selbst in Spannung versetzt werden, hierbei aber die Formänderungen des Betons vermindern[1]).

Nach Versuchen von C. Schumann[2]) ergibt sich, daß die Ausdehnung der Zementmörtel usw. bei Wassererhärtung zu derselben Zeit am stärksten ist, in der die Festigkeitszunahme am größten ist, daß also diese Ausdehnungserscheinungen grundverschieden von dem „Treiben“ (vgl. unten) des Zementes sind. Die Ausdehnung des Zementes ist nach 1 Jahr als beendet anzusehen und kann durch Sand erheblich verringert werden, beträgt z. B. bei 1 : 3 nur rd. 25 v. H. der Formänderung von reinem Zementmörtel. In gleichem Sinne günstig wirkt auch der Zusatz von Sand auf die Schwindgröße des Zementes ein, indem diese, absolut betrachtet, verringert wird, dann aber auch sich durchaus gleichmäßig stellt. C. Schumann bemerkt mit Recht[3]), daß erst durch Zusatz von Sand zum Portlandzement in diesem Sinne die Wetterbeständigkeit des Mörtels erreicht wird.

Auf die Bildung der Schwindrisse — hervorgerufen durch stärkeres und schnelleres Zusammentrocknen der Oberfläche gegenüber dem Kern und hierdurch bedingte innere Spannungen — wirken befördernd ein ein schneller Wechsel zwischen Trockenheit und Durchfeuchtung des Mörtels, also zwischen Zusammenziehen und Ausdehnen, u. U. noch erheblich unterstützt durch die sprengende Wirkung des in den Rissen gefrierenden Wassers.

Nach Versuchen von C. Schumann zeigt sich, daß ein Mörtelprisma (1 : 3) von 100 mm Länge und 800 qmm Querschnitt an der Luft nach 4 Wochen um rd. 0,043, nach 1 Jahre um 0,06 mm sich verkürzt hat und daß die Verkürzungen, welche zum Vergleiche herangezogene hydraulische Kalke, Puzzolanzemente, Traßkalke ergaben, größer als die des Zementmörtels gefunden wurden. Auch zeigte sich, daß Zementbeton 1 Zement : 2 Sand : 4 Kies sein Volumen nach 4 Wochen nicht mehr änderte und die absolute Größe der Formänderung etwa nur 60 v. H. der des Zementes 1 : 3 betrug.

Wie schon oben erwähnt wurde, ist die Erscheinung des Treibens des Zementes von der vorbehandelten geringen Formänderung grundverschieden; abgesehen davon, daß letztere bei Treiben sehr groß ist, und nicht selten infolge großer Kraftleistung den ganzen Zusammenhang des Zementmörtels oder Betons aufhebt, tritt sie auch erst bei oder nach Eintritt der Erhärtung dieses, oft sogar nach Jahren ein. Im allgemeinen zeigt sich ein Treiben unter Wasser schneller als an der Luft; es ist bei den auf S. 624

[1]) Auf solche Weise werden z. B. bei Eisenbetonkörpern und Abbinden in Wasser im Beton Druck-, im Eisen Zug- Anfangsspannungen erzeugt, während beim Abbinden in der Luft das Entgegengesetzte eintritt.

In ähnlicher Weise sind auch die Spannungen wirksam, welche im Beton durch seine erstmalige Belastung und die hierbei eintretende bleibende Formänderung ausgelöst werden.

[2]) Vergl. Büsing und Schumann. 3. Aufl. S. 27 u. ff.

[3]) Vergl. sein Werk S. 30, 3. Auflage.

erwähnten Probekuchen deutlich als solches an den vom Rande nach der Mitte zu verlaufenden, am Rande am meisten geöffneten Rissen erkennbar[1]), mit denen vielfach zugleich ein Aufkrempeln der Außenkanten der Kuchen verbunden ist. Das Treiben des Zementes liegt stets in Herstellungsfehlern und kommt demgemäß bei dem heutigen einwandfreien Verfahren bei guten Rohmaterialien kaum mehr vor; namentlich können hier eine Ungleichmäßigkeit des Brennprozesses, besonders ein nicht genügend hohes Brennen einzelner Kalkteile und die alsdann später eintretende Umwandlung in Kalkhydrat durch das Anmachewasser, sowie ein zu hoher Gipsgehalt eine gefährliche Rolle spielen; hier tritt das Treiben i. d. R. nach Tagen, zum mindesten nach Wochen ein. Erheblich ungünstiger in dieser Hinsicht sind Zemente mit größerem Magnesiagehalt, indem hier das Treiben erst nach Jahr und Tag sich zeigt. Hier reicht also auch die Normenprobe (S. 624) nicht aus zur Erkennung der Schädlichkeit des Zementes, wenn auch aus dem ganzen i. d. R. anormalen Verhalten solcher Zemente beim Erhärten (Ausdehnung, Festigkeitszunahme) auf ein mit Vorsicht zu verwendendes Bindemittel geschlossen werden kann. Nach Erfahrungen schadet ein Magnesiagehalt von $\leqq 3$ v. H. durchaus nichts; es ist also zur Sicherheit die Bedingung zu stellen, daß ein höherer Gehalt an Magnesia als 3 v. H. nicht zugelassen wird, dessen Kontrolle durch die chemische quantitative Analyse zu erbringen ist[2]).

8. Die elastischen und Festigkeitsverhältnisse des Zementmörtels und Zementbetons.

A. Elastische Verhältnisse.

Die Elastizitätszahlen von Zementmörtel und -Beton sind verschieden, je nachdem der Art der Beanspruchung, auf Druck oder Zug und deren Größe; sie sie sind also abhängig von der Spannung und zwar nehmen sie mit deren Vergrößerung ab. Auch zeigt sich keine Proportionalität zwischen Last- und Formänderung. Nach Aufhören der Last verbleibt stets eine dauernde Formänderung, die bei öfterer Wiederholung der Belastung keine erhebliche Zunahme mehr erfährt und als bleibend angesehen werden kann. Aus Versuchen von v. Bach wurde für Druckbeanspruchung des Zementmörtels und -Betons das Elastizitätsgesetz abgeleitet:

$$\alpha = \frac{1}{E_{b\,Dr}} \sigma^m,$$

worin α die Formänderung für die Längeneinheit und $E_{b\,Dr}$ die Elastizitätszahl für Druckbelastung, m eine Materialkonstante darstellen. Die Versuche lieferten die nachstehenden Zahlenergebnisse:

a) Zementmörtel.

	$E_{b\,Dr}$		m
1. reiner Zementmörtel	250000	kg/qcm	1,09
2. 1 Zement : 1,5 Sand	356000	„	1,11
3. 1 „ : 3 „	315000	„	1,15
4. 1 „ : 4,5 „	230000	„	1,17

[1]) Mit Schwindrissen sind diese Treibrisse nicht zu verwechseln, weil erstere von der Mitte aus gehen, auch sich schon während des Abbindens bilden und zudem meist unregelmäßige in sich selbst verlaufende Kurven zeigen, während Treibrisse angenähert radial gerichtet zu sein pflegen, vgl. auch S. 631 u. ff.

[2]) Im Gegensatze zum Gehalt an schädlichem Kalk, der i. d. R. auf nicht ausreichend hohen Brand zurückzuführen ist, ist bei einem höheren Magnesiagehalt als 3 v. H. gerade der schärfere Brand besonders gefährlich, während bei weniger hoch gebrannten, derartigen Zementen die Gefahr des Treibens nicht besonders groß ist.

b) Beton.

5.	1 „ Zement	: 2,5	Sand	: 5	Kies	298000 „	1,145
6.	1 „	: 5	„	: 6	„	280000 „	1,137
7.	1 „	: 5	„	: 10	„	217000 „	1,157
8.	1 „	: 2,5	„	: 5	Kalksteinschotter	457000 „	1,157
9.	1 „	: 5	„	: 6	„	380000 „	1,167
10.	1 „	: 5	„	: 10	„	376000 „	1,207

Aus dieser Zusammenstellung zeigt sich, daß m mit dem Gehalte an Füllmaterial wächst, aber nicht weit entfernt von 1,0 liegt und demgemäß mit ausreichender Genauigkeit, wie dies in der Praxis mit Recht allgemein eingeführt ist, = 1 gesetzt werden kann; ferner ergibt sich, daß sich die Werte von $E_{b\,Dr}$ angenähert wie die Raumgewichte verhalten.

Inwieweit die **Zahl $E_{b\,Dr}$**, alsdann auch $E_{b\,z}$ = der Elastizitätszahl bei Zugbelastung von der Spannung, daneben auch von der Höhe des Wasserzusatzes[1]) abhängig sind und zudem im Laufe der Zeit zunehmen, lassen die 5 nachfolgenden Zusammenstellungen deutlich erkennen; die erste (I) von ihnen rührt von Versuchen von v. Bach mit einem 77 Tage alten Beton aus 1 RT. Zement + 2,5 RT. Sand + 5 RT. Kies her, die zweite (II) entstammt Untersuchungen von E. Probst (10 v. H. Wassergehalt, 300 kg Zement auf 1 cbm fertigen Betons, Erhärtungsdauer 62 Tage), die dritte (III) ist Untersuchungen von v. Bach mit Eisenbetonprismen und Spannungen von 16—115 kg/qcm entlehnt und läßt erkennen, daß durch Eiseneinlagen die elastischen Beziehungen des Betons bei normaler Druckbelastung keine Änderung erfahren, während die beiden letzten Tabellen (IV u. V) Versuchsergebnisse von Mörsch (Weiß & Freytag, Neustadt a. d. H.) wiedergeben und besonders für die Verwendung des Zementes für Eisenbetonbauten von grundlegender Bedeutung geworden sind.

I.

σ =	0—7,9;	7,9—15,8;	15,8—23,7;	23,7—31,6;	31,6—39,5 kg/qcm,
$E_{b\,Dr}$ =	306000;	256000;	226000;	212000;	194000 „ .

II.

σ =	13,7	20,3	27,1	33,9	40,6	47,6	54,0	60,8	67,5	kg/qcm,
$E_{b\,Dr}$ =	315000	254000	204000	189000	185800	185500	147000	139000	139000	„ .

III.

Versuchskörper				$E_{b\,Dr}$ in kg/qcm
Reines Betonprisma				280000—174800
Betonprisma mit Eiseneinlagen			I	317800—207400
„	„	„	II	314500—194800
„	„	„	III	332900—239500
„	„	„	IV	331300—232800
„	„	„	V	393500—272400

[1]) Vergl. hierzu auch die Versuche von v. Bach, welche bei der Besprechung der Druckfestigkeit des Betons weiter unten angeführt sind.

IV.

σ in kg/qcm	Mischung 1:3			Mischung 1:4	
	$E_{b\,Dr}$ in kg/qcm bei einem Wasserzusatz von				
	8%	14%		8%	14%
	nach 3 Monaten	nach 3 Monaten	nach 2 Jahren	nach 3 Monaten	nach 3 Monaten
3,0	300 000	272 000	—	273 000	250 000
6,1	290 000	265 000	305 000	265 000	226 000
9,2	287 000	260 000	—	257 000	219 000
12,2	284 000	254 000	290 000	250 000	215 000
15,3	278 000	246 000	—	247 000	210 000
18,3	273 000	241 000	286 000	241 000	203 000
24,5	266 000	235 000	283 000	235 000	198 000
30,6	261 000	227 000	280 000	230 000	191 000
36,8	257 000	222 000	278 000	225 000	185 000
49,0	247 000	216 000	272 000	218 000	177 000
61,3	240 000	209 000	268 000	211 000	170 000
73,7	—	—	263 000	—	—
86,0	—	—	257 000	—	—

V.

Zugspannung in kg/qcm	Mischung 1:3			Mischung 1:4	
	$E_{b\,z}$ in kg/qcm bei einem Wassergehalt von				
	8%	14%		8%	14%
	nach 3 Monaten	nach 3 Monaten	nach 2 Jahren	nach 3 Monaten	nach 3 Monaten
1,6	267 000	230 000	390 000	266 000	250 000
3,1	238 000	207 000	316 000	240 000	226 000
4,6	230 000	200 000	311 000	224 000	200 000
6,2	221 000	194 000	310 000	200 000	194 000
7,7	203 000	175 000	308 000	190 000	—
9,2	196 000	—	303 000	—	—
10,8	Zugfestigkeit	Zugfestigkeit	303 000	Zugfestigkeit	Zugfestigkeit
12,3	12,6 kg/qcm	10,5 kg/qcm	301 000	9,2 kg/qcm	8,8 kg/qcm
13,8			298 000		
			Zugfestigkeit 15,8 kg/qcm		

Soweit diese Zahlenergebnisse erkennen lassen, geht die Elastizitätszahl mit ver-vergrößerter Spannung sehr erheblich zurück, sinkt auch mit steigendem Wasserzusatz, wenn auch nicht proportional und überhaupt wenig erheblich, und nimmt, sowohl auf Druck als auch auf Zug im Laufe der Zeit bedeutend zu, letzteres namentlich bei Zugbelastung.

Aus allen voranstehenden Zahlen ergibt sich, daß für die Verhältnisse der baulichen Praxis und die hier innegehaltenen, bzw. durch Bestimmungen zuge-

lassenen Spannungen für $E_{b\,Dr.}$ ein konstanter Mittelwert von etwa 220000 kg/qcm angenommen werden kann, d. h. etwa $\frac{1}{10}$ des Elastizitätsmaßes von Flußeisen; in demselben Sinne kann für $E_{b\,z}$ die Größe von rd. 150000 kg/qcm $= \frac{1}{15}$ der gleichen Zahl bei Flußeisen Verwendung finden. Es ist aber selbstverständlich, daß bei höheren Spannungen, also z. B. bei Bruchversuchen und deren Ausmittelung erheblich geringere Werte von $E_{b\,Dr}$ und $E_{b\,z}$ in Anwendung kommen müssen, da beide Zahlen, wie voranstehend gezeigt wurde, sehr stark mit zunehmender Spannung fallen; hier empfehlen sich etwa Größen von 100000 kg/qcm für $E_{b\,Dr}$ und 25000 kg/qcm für $E_{b\,z}$.

Eine eigentliche Elastizitätsgrenze gibt es beim Beton nicht; es hat sich nur — namentlich aus den v. Bachschen Versuchen — gezeigt, daß es eine Grenze gibt, unter der man die (Druck)-Beanspruchung wiederholen darf, ohne daß die beim ersten Belasten eingetretene Formänderung sich erheblich vergrößert; diese Zahl, die Grenze der ständigen Tragfähigkeit, erweist sich im allgemeinen gleich einem Drittel der Bruchbelastung. Da i. d. R. die Sicherheit, mit der Beton beansprucht wird, größer ist als dreifach, so ist mithin auch keine Gefahr vorhanden, daß weitere Formänderungen dauernder Art, als sie durch die erste Belastung bedingt werden, späterhin eintreten.

Die zuerst von Considère i. J. 1899 [1]) aufgestellte Theorie, daß der Beton durch seine Vereinigung mit Eisen, also in Verbundkonstruktionen, in der Art erheblich in seinem elastischen Verhalten beeinflußt würde, daß er, auf Zug beansprucht, vielfach größere Dehnung auszuhalten vermöge als ohne Eisenbewehrung, ist durch weitere, namentlich deutsche Versuche als nicht zutreffend erwiesen worden [2]). Hier zeigte sich, daß — wie auch zu erwarten stand — durch die rein mechanische Vereinigung von Eisen und Beton im Verbundbau die elastischen Eigenschaften des Betons nicht beeinflußt werden, daß aber der Zeitpunkt des Eintrittes der Bruchdehnung um so weiter herausgeschoben wird, je höher die Bewehrung ist. Auch gab sich durch die v. Bachschen Versuche zu erkennen, daß dem Eintritte feinster Haarrisse stets bei gebogenen Körpern die Ausbildnng von Wasserflecken vorangeht, welche erkennen lassen, daß der Zusammenhang des Betons begonnen hat, sich zu lockern. Naturgemäß ist bei derartigen Elastizitätsuntersuchungen auch genau darauf zu achten, daß der Probekörper spannungslos ist, bzw. es sind etwa aus Anfangsspannungen bereits vorhandene Formänderungsgrößen in Berücksichtigung zu ziehen.

B. Festigkeitsverhältnisse.

Über die verlangte **Druckfestigkeit** von Zementmörtel (1 : 3) und Beton geben die betr. Bestimmungen auf den S. 625 u. 626 Auskunft. Anschließend sei darauf hingewiesen, daß nach 4 Wochen Erhärtung im allgemeinen Druckfestigkeiten von 200—250 kg/qcm erwartet werden können, und daß diese Zahl im Laufe der Zeit noch sehr erheblich steigt. Daneben haben vorwiegend auf die Größe der Festigkeit Einfluß die Güte und Reinheit der Rohmaterialien, die Dauer ihrer Zusammenmischung, die Höhe des Wasserzusatzes, die Art der Herstellung von Beton und Mörtel und deren Nachbehandlung.

[1]) Vergl. Génie civil 1899. Nr. 1—17, sowie die weiteren Veröffentlichungen einer französischen Regierungskommission über diese Frage, behandelt u. a. in Beton und Eisen 1903. V. S. 291 und 1905. III. S. 58. V. S. 124.

[2]) Vergl. die Arbeiten von Kleinlogel, Bach, Rudeloff u. a., die in der Literatur-Nachweisung aufgeführt sind.

Die nachfolgenden Zusammenstellungen lassen die Einwirkung der oben angegebenen Faktoren im einzelnen erkennen:

a) Einwirkung der Erhärtungszeit.

α) Zunahme der Druckfestigkeit des Betons, beobachtet beim Bau der Munderkinger Brücke.

Mischung 1 : 2,5 : 5.

Erhärtungszeit	7 Tage	28 Tage	5 Monate	2 Jahre	9 Jahre	
σ_{bd} = Würfelbruchfestigkeit	202	254	332	520	570	kg/qcm.

β) Versuche von v. Bach (3. Teil der Mitteilungen über Druckelastizität und Druckfestigkeit von Betonkörpern mit verschiedenem Wasserzusatz).

Mischung 1 : 2,5 : 5. Druckfestigkeit in kg/qcm nach					Mischung 1 : 4 : 8 Druckfestigkeit in kg/qcm nach				
	28 Tg.	100 Tg.	2 Jahr.	6 Jahr.		28 Tg.	100 Tg.	2 Jahr.	6 Jahr.
Mörtel	337	433	568	604	Mörtel	223	256	318	428
Beton	317	348	484	569	Beton	251	268	387	474

γ) Versuche, in gleichem Sinne ausgeführt in der Berliner Materialprüfungsanstalt[1]).

Mischung	Alter 7 Tage	28 Tage	3 Mon.	6 Mon.	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	
1 : 3	—	219,0	264,0	291	293	—	308	kg/qcm.
1 : 4	125,4	163,8	215,8	—	283	316	320	
1 : 5	69,7	101,4	140,4	—	180	194	205	

b) Versuche über die Abhängigkeit der Druck-(Mörtel-)Festigkeit vom Wassergehalte der Mischung:

α) Versuche der Berliner Materialprüfungsanstalt[2]).

1. Mörtel.

Alter der Probewürfel 3 Monat.

Mischung	Wassergehalt in v. H.	σ_{bd} kg/qcm
1 : 1	9,2	421
1 : 2	6,0	360
1 : 3	4,5	282

2. Beton.

Würfel von 20 cm Seite — Alter 3 Monat.

(Zugleich Versuche über den Einfluß der Menge der Zuschlagsstoffe und deren Art.)

Reihe I.

Mörtelmischung	1 : 1				1 : 2				1 : 3	
Schotterzusatz	2 Kies	3 Kies	4 Kies	2 Granit	4 Kies	5 Kies	4 Granit	5 Granit	6 Kies	6 Granit
Wassergehalt in v. H.	9,2	9,2	9,2	9,2	6,0	6,0	6,0	6,0	4,5	4,5
σ_{bd} kg/qcm	261	293	277	343	266	284	205	293	227	269

[1]) Vergl. u. a. Beton und Eisen. 1906. H. IV. S. 102. Es ist stets das Mittel aus 10 Einzelversuchen angeführt. Die Erhärtung der Proben 1 : 4 und 1 : 5 fand normenmäßig statt, hingegen waren die Proben 1 : 3 einen Tag an der Luft, alsdann unter Seewasser erhärtet.

[2]) Vergl. Berliner Mitteilungen 1903. H. IV. S. 111 von H. Burchartz.

Reihe II.
Alter der Probekörper 28 Tage.

Mörtelmischung	1:1			1:2	
Zusatz an Steinschlag	2	3	4	4	5
Wassergehalt in v. H.	12	13	13	9,1	9,1
$\sigma_{b\,d}$ in kg/qcm	374	358	304	287	259

β) Versuche von v. Bach mit erdfeuchtem, plastischem und weichem Beton. Von diesen drei, nur durch den Gehalt an Wasser verschiedenen Mischungen enthält der „plastische" Beton etwa 25 v. H. Wasser mehr (5,5 v. H.) als der erstere (4,4 v. H.), während die weiche Art mit 6,10 v. H. den erdfeuchten Beton um rd. 40 v. H. an Wassermenge übertrifft. Die Versuche lassen erkennen, daß die Erhöhung des Wassergehaltes in den obigen Grenzen vielfach keinen sicher festzustellenden Einfluß auf die Festigkeit besitzt, daß hierbei also notwendigerweise keine Änderung in den wichtigsten Eigenschaften des Betons bedingt zu sein braucht. Von größerer Wichtigkeit ist hingegen das Versuchsergebnis, daß — in bezug auf die Festigkeit — sich große Abweichungen zwischen dem von Hand aus gemischten und dem mit Maschinen zubereiteten Betonergeben, und daß eine wichtige Grundlage für die Güte des Betons in einer guten maschinellen Mischung liegt; gegenüber diesen Verhältnissen kommt die Schwankung zwischen der Druckfestigkeit von erdfeuchtem bzw. plastischem bzw. weichem Beton weniger in Betracht, wenn auch dargetan wird, daß bei geeigneter Zusammensetzung des Betons die geringste Wassermenge, welche zur Herstellung von Stampfbeton gerade noch ausreicht, die größere Festigkeit liefert. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß, je geringer der Wassergehalt des Betons ist, um so schwieriger seine Herstellung und Verarbeitung wird; hier dürfen nur geschulte Arbeiter Verwendung finden, während bei einem höheren Wasserzusatz selbst bei weniger geübten Hilfskräften die Sicherheit eine größere ist, daß der Beton durchgehend gleichartig ausfällt.

Wenn somit der Gehalt an Wasser auf die endgültige Druckfestigkeist des Betons keinen allzu bestimmenden Einfluß ausübt, so zeigen sich doch im Erhärtungsvorgange selbst Unterschiede, indem der weniger druckfeste, hoch wasserhaltige Beton vielfach an Festigkeit rascher zunimmt als der erdfeuchte, Unterschiede, die nach längerer Zeit aber wieder verschwinden. Jedenfalls ist dem erdfeuchten Beton im allgemeinen keine Vorzugsstellung einzuräumen, um so weniger, als die feuchter gehaltene Masse zu ihrer Herstellung gegenüber einem trockenen Beton nur rd. $^2/_3$ des Arbeitsaufwandes verlangt; Genaueres vgl. in den v. Bachschen Veröffentlichungen[1]).

γ) Versuche des deutschen Beton-Vereins[2]):

Obwohl hier im allgemeinen der Einfluß der Stampfarbeit bei der Betonherstellung auf dessen Festigkeit ergründet werden sollte (vgl. Anm. 1 auf S. 647), liefern die Ergebnisse doch auch dafür einen weiteren Beweis, daß die Proben mit höherem Wasser-

[1]) Mitteilungen über die Druckelastizität und Druckfestigkeit von Betonkörpern mit verschiedenem Wasserzusatz I, II, III. Stuttgart. Karl Grüninger.

[2]) Vergl. D. B. (Zement). 1906. Nr. 11. S. 43., vgl. auch die Tabelle auf S. 637.

zusatze eine im allgemeinen geringere Festigkeit besitzen; auch zeigt sich hier wiederum die große Überlegenheit der Maschinenmischung gegenüber der Herstellung durch Hand.

δ) Versuche von Burchartz[1]) mit der für Eisenbetonbauten normalen Mischung von 1 : 4 und einem Wassergehalte von 7,5 bzw. 12,0 v. H. Die ermittelten Druckfestigkeiten ergaben sich im Mittel zu 204 und 131 kg/qcm, zeigen also einen erheblichen Abfall. Ähnliche Verhältnisse ergaben auch viele neuere, anläßlich der ausgedehnten Versuche mit Eisenbetonprobekörpern durchgeführte normale Festigkeitsprüfungen des verwendeten Betons — vgl. namentlich die aus der Stuttgarter Material-Prüfungsanstalt hervorgegangenen v. Bach'schen Arbeiten.

Was die Wahl des Wassergehaltes des Betons in der baulichen Praxis anbelangt, so ist hier scharf zu trennen zwischen der Verwendung dieses Stoffes im Eisenbetonbau und zu Beton ohne Eiseneinlagen. Im ersteren Falle, also im Verbundbau, ist die Verwendung erdfeuchten, trockenen Betons nicht am Platze, vielfach sogar ausgeschlossen, da ein Stampfen zwischen den oft nahe aneinander liegenden Eisen praktisch vielfach wertlos ist, ein gutes Zusammenwirken der Verbindung von Beton und Eisen aber nur dann ermöglicht wird, wenn eine vollkommene Umhüllung der Eisen durch den Beton stattfindet. Dieses ist aber nur zu erreichen, wenn man einen sehr plastischen, d. h. nassen Beton verwendet. Ferner liegt auf der Hand, daß man zu demselben Konstruktionsteile stets nur **eine** Art von Beton verwenden wird, daß man also auch im Verbundbau die nur aus Beton bestehenden Glieder mit demselben, d. h. weichen Beton herstellen muß, wie er für die gezogenen Teile mit ihren Eiseneinlagen verwendet wird, d. h. man wird bei Eisenbetonbauten im allgemeinen nassen Beton benutzen. Hingegen wird es nach wie vor zweckmäßig sein, für den reinen Stampfbeton einen trockenen Beton zu wählen, der durch gutes Stampfen — namentlich bei Zusatz von Traß — durchaus dicht wird; ob dieser Beton sich mehr dem erdfeuchten oder plastischen nähert, wird keine ausschlaggebende Rolle spielen — nur zu „naß" darf er für die Stampfarbeit nicht sein[2]). Dort, wo hingegen „Schüttbeton" unter Wasser verwendet wird, ist eine Anlehnung an das weiche Material und die Einbringung des Beton gleich auf einmal in seiner ganzen Stärke — also nicht ein Stampfen in dünnen Schichten — zu empfehlen[3]). Auch ohne durchgängige Stampfarbeit wird der Schüttbeton fest und dicht, und zwar in seinen unteren Schichten durch das große Gewicht der obenliegenden Massen, während die Oberfläche durch Stampfen zusammengepreßt werden kann. Stellt man hingegen Bauwerkssohlen in einzelnen 15—25 cm starken Lagen her, so binden die oberen Schichten an die unteren nicht fest genug an; es bilden sich wagerechte Fugen und das Betonbett vermag nunmehr eine Biegungsbeanspruchung nicht so gut auszuhalten, wie die durch Schüttung in voller Stärke erzeugte starke, gleichartige Platte.

c) Inwieweit die Zusammensetzung des Beton, namentlich der Einfluß von Steinschlag an Stelle von Kies, ferner die Art der Betonerzeugung (Hand- und Maschinenmischung) und die Größe der Stampfarbeit die Festigkeit beeinflussen,

---

[1]) Vergl. u. a. Z. d. B. 1902. Nr. 98 und Z. u. B. 1904. S. 115. Die Raumgewichte der beiden Mischungen betrugen bei dem geringeren Wassergehalte 2,271, bei dem höheren 2,210, d. h. es zeigt sich eine Verminderung um rd. 3 v. H.

[2]) Vergl. hierzu die Aussprache in der Zeitschr. d. Verb. d. A. u. I. V. 1912. S. 33, 50, 60, 77 und 118.

[3]) Vergl. hierzu die Ausführungen von Sympher in der Zeitschrift des Verb. d. A. u. I. V. 1912. S. 60.

geht aus den voranstehenden Ausführungen, namentlich den Tabellen b, α, 2, I und II, S. 644—645 und der Zusammenstellung in Anm.[1]) hervor.

Im allgemeinen wird man bei einem gut gemischten, normal zusammengesetzten Beton, wie er für Ingenieur- und wichtigere Hochbauten Verwendung findet, eine **zulässige Druckbeanspruchung** bei Normalbelastung von rd. 35—40 kg/qcm, d. i. eine vier- bis fünffache Sicherheit gegenüber der Bruchfestigkeit nach einem Monat, gestatten können; wird eine zehnfache Sicherheit gefordert, so kann als Mittelwert der zulässigen Druckspannnng 20 kg/qcm eingeführt werden. Es sei jedoch hervorgehoben, daß diese zulässigen Spannungen häufiger und nicht ohne Berechtigung, namentlich im Brückenbau, vornehmlich für selten eintretende und verwickeltere größte Belastungszustände überschritten worden sind.

Daß die Druckfestigkeit des Betons durch eine geeignete Umschnürung mit Eisen vergrößert werden kann, die ein seitliches Ausweichen des Betons verhindert, sei nur kurz erwähnt, da die diesbezüglichen Verhältnisse in das Gebiet des Verbundbaues gehören und hier zu weit führen würden[2]).

[1]) Nach Versuchen von E. Dyckerhoff zeigte sich, daß durch die Stampfarbeit bei erdfeuchtem Beton die Festigkeit erheblich vergrößert wurde, daß dies aber bei weichem Beton einen geringeren Einfluß hatte. Von einer gewissen Grenze ab läßt diese Festigkeitszunahme aber nach, um sich schließlich in eine Abnahme umzuwandeln. Dies zeigt die nachfolgende Tabelle:

Betonart	Versuchsreihe		Zahl der Stampfstöße	Druckfestigkeit kg/qcm	Zunahme an Festigkeit in % v. H.
Erdfeucht 5 v. H. Wassergehalt	I	Maschinen-Mischung	6	185,2	—
	I		12	215,5	+ 16,4
	I		18	226,3	+ 15,0
	II		6	193	—
	II		12	228	+ 18,1
	II		18	217	— 4,8
Erdfeucht 5,2 v. H. Wassergehalt	III	Hand-Mischung	6	135,8	—
	III		12	159,8	+ 17,7
	III		18	156,8	— 1,9
Weich 6,5 v. H. Wassergehalt	I	Maschinen-Mischung	6	136,7	—
	I		12	139,3	+ 1,9
	I		18	141,1	+ 1,3
	II		6	150	—
	III		12	155	+ 3,3
	II		18	156	+ 0,6
Weich 6,6 v. H. Wassergehalt	III	Hand-Mischung	6	113	—
	III		12	130	+ 15,5
	III		18	134	+ 3,1

Genaueres siehe in D. B. (Zement) 1906. Nr. 11. S. 43.

[2]) Vergl. u. a. des Verfassers: Material und stat. Berechnung der Eisenbetonbauten. 1907. W. Engelmann. S. 33 u. ff. Umschnürter Beton (Beton fretté.)

Die **Zugfestigkeit** des Betons hat, wie zunächst hervorgehoben sei, bei weitem nicht die Bedeutung wie die Druckfestigkeit, weil einerseits Betonbauten so bemessen werden, daß die einzelnen Querschnitte nur Druck erhalten oder andererseits zur Aufnahme auftretender Zugkräfte Eisen eingelegt werden, die den gesamten Zug aufnehmen, sodaß der in der Zugzone liegende Beton statisch nicht berücksichtigt wird. Immerhin aber sind die Normal-Zugfestigkeiten von Bedeutung, um zu beurteilen, ob mit dem Eintreten feiner Haarrisse zu rechnen sei u. dgl. In ähnlicher Art wie die Druckfestigkeit wird auch die Zugfestigkeit von Zementmörtel und -Beton beeinflußt durch das Alter der Erhärtung, durch den Wasserzusatz, durch die Menge der beigefügten Zusatzstoffe usw. Hierüber, sowie über die absoluten Größen geben die nachfolgenden Zusammenstellungen Aufschluß;

I.

Versuche der Berliner Material-Prüfungsanstalt mit normenmäßig hergestellten Mörtelmischungen[1]) von 1 : 3, 1 : 4 und 1 : 5:

Mischung:		Alter:						
		7 Tage	28 Tage	3 Monate	6 Monate	1 Jahr	2 Jahr	3 Jahr
1 : 3	Zugfestig-	—	23,5	27,5	28,5	33,1	—	37,2
1 : 4	keit in	17,0	22,7	28,1	—	—	28,5	29,2
1 : 5	kg/qcm	12,7	16,5	19,8	—	22,6	23,6	23,3

Die aus je 10 Proben ermittelten Zugfestigkeiten zeigen fast ausschließlich eine Vergrößerung im Laufe der Zeit, die in den ersten Monaten erheblich ist, später weniger bedeutend auftritt; die gegenüber anderen Versuchsreihen hohen Ergebnisse lassen auf eine sehr genaue Herstellung der Probekörper schließen, wie sie einer Ausführung in der Praxis nicht entsprechen dürften.

II.

Versuche der Firma Wayß und Freytag:

Es zeigte sich bei einer

Mischung 1 : 3 im Alter von 3 Monaten eine Zugfestigkeit von i. M. 12,6 kg/qcm,
„ 1 : 3 „ „ „ 2 Jahren „ „ „ „ „ 15,5 „
„ 1 : 4 „ „ „ 3 Monaten „ „ „ „ „ 9,2 „

Ferner wurden anläßlich der Bestimmung der auf S. 642 erwähnten E_{bz}-Zahlen die folgenden Festigkeiten bei den dabei verwendeten Wasserzusätzen gefunden:

Alter:	Mischung:	Wassergehalt i. v. H.:	Zugfestigkeit in kg/qcm
3 Monat	1 : 4	8	9,2
3 Monat	1 : 4	14	8,8
3 Monat	1 : 3	8	12,6
3 Monat	1 : 3	14	10,5
2 Jahr	1 : 3	14	15,8.

III.

In ähnlicher Weise fand v. Bach bei Mischungen von 1 Zement + 4 Kiessand + 14 v. H. Wasser aus einer größeren Anzahl von Einzeluntersuchungen bei einem Erhärtungsalter von rd. 3 Monaten eine mittlere Zugfestigkeit = 11,3 kg/qcm.

[1]) Vergl. u. a. B. u. E. 1906. IV. S. 102.

IV.

In welcher erheblichen Weise die Form des Probekörpers bestimmend ist und wie auch hier die Maschinenmischung gegenüber der Handarbeit vorteilhaft wirkt, lassen die nachfolgenden von v. Bach ermittelten Versuchsergebnisse erkennen:

Alter 28 Tage. Mischung 1 : 3.

Form des Probekörpers:	Handmischung 9 v. H. Wasser Zugfestigkeit i. M.	Maschinenmischung[1]) 9,5 v. H. Wasser Zugfestigkeit i. M.	
Achterform $F_b = 5$ qcm	36,8	38,5	kg/qcm.
Prismenform $F_b = 50$ qcm	17,35	25,1	

Änliche Ergebnisse liefern auch die anläßlich der (vom deutschen Ausschusse für Eisenbeton durchgeführten) Eisenbeton-Untersuchungen vorgenommenen, zahlreichen Bestimmungen der Zugfestigkeit der hier verwendeten Mörtel und Betone — vgl. die Veröffentlichungen des genannten Ausschusses; namentlich ist hier die Feststellung von Rudeloff und Gary hervorhebenswert, nach der die Zugfestigkeit des Betons etwa 9,2% der Würfeldruckfestigkeit beträgt (Heft 17).

Im allgemeinen wird man auf Grund der mitgeteilten Zahlenwerte und unter Berücksichtigung, daß die hier meist vorliegenden Laboratoriumsversuche gegenüber der Praxis hohe Ergebnisse darstellen, damit rechnen können, daß nach etwa 3 Monaten ein Zementmörtel 1 : 3 bis 1 : 4 15—20 kg/qcm Zugfestigkeit besitzt, und daß demgemäß bei einer 5 bzw. 10fachen Sicherheit **Zugspannungen bei Normalbelastung** von 3,0—4,0, bzw. 1,5—2,0 kg/qcm gestattet werden können.

Die nach den Navierschen Gesetzen ermittelte **Biegefestigkeit** des Betons, d. h. die hierbei auftretende Druck- bzw. Zugfestigkeit zeigt i. d. R. erheblich höhere Werte als sie sich bei einer Normalbeanspruchung — bei Druckbelastung also der Würfelprobe — ergeben. Diese Erscheinung dürfte darin ihre Erklärung finden, daß einerseits die Elastizitätzahlen für Druck und Zug verschieden sind, andererseits das Hooke'sche Gesetz für Betonbauten eigentlich keine Gültigkeit besitzt und endlich durch die Achsendrehung der Querschnitte im Innern der Betonkörper in der Druckzone nicht in Rechnung gestellte Widerstände sich ausbilden können. Hierzu kommt bei Druck-Würfelversuchen noch hinzu, daß jeder ungleichmäßige Kraftangriff, jede hierdurch bedingte ungleichmäßige Zusammendrückung die Bildung sekundärer Schubspannungen, denen gegenüber der Würfel wenig widerstandsfähig ist, bedingt und zum Bruche führt, während bei der Biegungsbelastung, wie namentlich Schüle-Zürich nachweist, in weit höherem Grade eine gleichmäßig ansteigende Druckübertragung gesichert ist.

Diese, demgemäß auf unwahrscheinlicher Grundlage ermittelten vergrößerten Biegungsspannungen haben naturgemäß nur relativen Wert, da beim Bruche bei Biegung tatsächlich in den äußersten Fasern keine andere Festigkeit vorhanden sein kann als wie bei der Normalbeanspruchung. Man wird aber diesen, aus der Rechnung nach Navier usw. sich ergebenden relativen Zahlen insofern Rechnung tragen müssen, als auch die zulässigen Spannungen auf Biegung eine entsprechende Erhöhung gegenüber den erlaubten Normalbeanspruchungsziffern, erfahren. Da nach Versuchen und deren Ausmittelung nach Navier[2]) die Zugbiegefestig-

[1]) Vergl. von Bach: Elastizität und Festigkeit. 4. Aufl. 1902. S. 129 u. 5. Aufl.

[2]) Die Festigkeit ist also hier bei rechteckigen Bruchquerschnitten nach der Gleichung:

$$\sigma = \frac{6\,M}{b\,h^2}$$

berechnet.

keit rd. das zweifache der Normalzugfestigkeit beträgt[1]), während bei Druck diese Zahlen etwa im Verhältnisse von 1,7 bis 1,8 : 1 stehen, so wird man erst ein Auftreten von Rissen bzw. ein Zusammendrücken des Betons bei Biegung zu erwarten haben, wenn die errechneten Biegungszugspannungen etwa Werte von 24—30 kg/qcm, die Biegungsdruckspannungen von rd. 300—400 kg/qcm erlangen. Demgemäß können aber auch hier die zulässigen Spannungen erhöht werden; es dürfte ohne Bedenken bei reiner Biegung mit einer erlaubten Druckspannung von 40—50 kg/qcm gerechnet werden können und ein Eintreten von Haarrissen an der Zugseite erst zu befürchten stehen, wenn die rechnerische Zugspannung 20 kg/qcm überschreitet. Die Betrachtungen zeigen zudem, daß es nicht angängig ist, bei Biegung von Festigkeitszahlen ohne weiteres Gebrauch zu machen, welche an Würfeln, auf Druck belastet, oder an prismatischen, **in ihrer Achse** gezogenen Stäben ermittelt wurden.

Die **Scherfestigkeit** von Zementmörtel und -Beton ist ähnlich wie die anderen Festigkeitsarten vorwiegend vom Mischungsverhältnisse, dem Wassergehalte, der Erhärtungszeit und der Güte der Materialien und ihrer Mischung beeinflußt. So ergaben z. B. Versuche, die Mörsch an geschlitzten Betonprismen ausführte, bei denen die stehengebliebenen Stege durch Abscherung zerstört wurden, die folgenden Ergebnisse; hierbei sind zum Vergleiche die am gleichen Material, wenn auch an besonderen prismatischen Körpern gefundenen Druck- und Zug- (Normal-)Festigkeiten hinzugefügt.

	Mischung						
	1 : 3		1 : 4		1 : 3		
Wasserzusatz	8	14	8	14	1	14	v. H.
Scherfestigkeit	36	30	31	28	26	19	kg/qcm
Zugfestigkeit	12,6	10,5	9,2	8,8	4,4	5,5	kg/qcm
Druckfestigkeit	280	195	220	153	127	88	kg/qcm

Im allgemeinen kann man damit rechnen, daß die Schubfestigkeit eines Beton- oder Mörtelkörpers von der Zusammensetzung 1 : 3 bis 1 : 5 nach 1 Monat Erhärtungs-

[1]) Hanisch und Spitzer in Wien fanden durch Versuche, bei denen prismatische Betonplatten auf Biegung zum Bruche gebracht wurden und bei Normalzugversuchen an Probekörpern, die aus den Bruchstücken nahe den Lagern mit größter Vorsicht herausgearbeitet wurden, z. B. das folgende:

Probe:	I	II	III	IV	V	VI	
Würfeldruckfestigkeit	296	329	256	314	352	300	kg/qcm.
Normalzugfestigkeit	29	24	27	23	20	29	kg/qcm.
Biegefestigkeit $\sigma = \frac{6M}{bh^2}$	54,6	43,2	46,1	49,1	46,2	49,1	kg/qcm.

Ähnliche Ergebnisse fand Mörsch:

Mischung:	1 : 3		1 : 4		
Wasserzusatz	8	14	8	14	v. H.
Berechnete Biegefestigkeit	21,4	23,2	16,1	16,7	kg/qcm.
Normalzugfestigkeit	12,6	10,5	9,2	8,8	kg/qcm.

Nach neuesten Versuchen des Groß-Lichterfelder Prüfungsamtes ist die Biegefestigkeit im Mittel zu 18,7 % der Würfeldruckfestigkeit gefunden worden.

Wegen des Verhältnisses der Würfel- zur Biege-Druckfestigkeit sind in erster Linie die Arbeiten von Bach für den Deutschen Ausschuß für Eisenbeton heranzuziehen. Aus ihnen geht hervor, daß neben der Form des Querschnittes hier auch die Größe der Eisenbewehrung ein wichtiges Wort mitspricht. Im besonderen sei auf die Ergebnisse von Heft 19, die Prüfung der Balken zu Kontrollversuchen behandelnd, hingewiesen; vgl. auch Arm-Beton 1912. August-Heft S. 293 u. 294.

zeit höher als 25 kg/qcm ist[1]), sodaß bei einer fünffachen Sicherheit mit rd. 5,0 kg/qcm gerechnet werden kann und die, namentlich im Eisenbetonbau eingeführte Zahl von 4,5 kg/qcm als zulässige Schubspannung eine durchaus genügende aber auch nicht zu hoch bemessene Sicherheit in sich schließt.

Die **Abnutzungsfestigkeit** des Zementbetons und -Mörtels[2]) spielt vorwiegend bei deren Verwendung zu Estrichen sowie Kunststeinen und Platten, die zur Erzeugung von Fußböden benutzt werden u. dgl. eine Rolle. Auch kommt hier die Benutzung der genannten Stoffe zu Gerinnsohlen, Kanälen usw. in Frage, welche starker Sand- und Geschiebeführung ausgesetzt sind.

Im allgemeinen hat sich gezeigt, daß Zementmischungen mechanischen Einflüssen gut widerstehen, namentlich bei ausreichendem, aber nicht zu hohem Sand- oder Steinzusatze. Die Grenze, bei welcher die Abnutzung stärker zunimmt, beginnt etwa bei 1 : 3; am günstigsten sind die Verhältnisse 1 : 1 und 1 : 2. Auch scheint es, daß — wenn auch nicht immer, so doch oft — zugfeste Mörtel und Betone auch gegenüber der Abnutzung ein günstiges Verhalten zeigen, wenn sich auch keine allgemeine Gesetzmäßigkeit, noch weniger eine Proportionalität in den diesbezüglichen Versuchsreihen zu erkennen gegeben hat. In gleicher Einschränkung gestattet auch die Größe der Druckfestigkeit einen ungefähren Schluß auf die Abnutzungsgröße.

Die **Haftfestigkeit** des Zementmörtels ist, soweit die Haftung an Steinen in Frage kommt, sehr verschieden; sie ist abhängig von diesen, vom Zement- bzw. Sandgehalte, von der feinen Mahlung usw., und kann durch Zufügung von Kalk nicht unerheblich vergrößert werden. Bei der großen Verschiedenheit der Materialien können Normalzahlen nicht angegeben werden. Von erheblich höherer Wichtigkeit als das Haften von Zementmörtel und Stein ist das Verhalten des ersteren gegenüber dem Eisen. Die hier bei Normalbeanspruchung waltenden Gesetzmäßigkeiten durch umfangreiche Versuche aufgedeckt zu haben, ist das Verdienst von v. Bach[3]). Die wichtigsten Ergebnisse seiner Arbeiten lassen sich in den folgenden Leitsätzen zusammenfassen:

a) Die Haftfestigkeit hängt in hohem Maße von dem Wassergehalte des Zementmörtels oder -Betons ab; und zwar zeigt sich bei dem kleinsten möglichen Wassergehalt die höchste Haftfestigkeit.

b) Eine Änderung des Sandzusatzes in beschränkten Grenzen beeinflußt die Haftfestigkeit nicht erheblich.

c) Die Haftfestigkeit für ein Eisen mit Walzhaut ist größer als bei glatter Bearbeitung der Eisenoberfläche.

d) Die Haftfestigkeit eines stärkeren Rundeisens ist größer als die eines gleichartigen schwächeren — ein Ergebnis, das wohl auf die Elastizität des Eisens zurückzuführen ist und erkennen läßt, daß trotz der Oberflächenvergrößerung eine Anzahl dünnerer Eisen gegenüber wenigen, stärkeren in bezug auf die Haftung nicht von Vorteil sind.

[1]) Nach Feststellung des Groß-Lichterfelder Prüfungsamtes ist die Scherfestigkeit rd. 18,3% der Würfeldruckfestigkeit.

[2]) Vergl. hierzu u. a. auch die vergleichenden Versuche für verschiedene Belegmaterialien im V. und VI. Jahrgange der Mitt. aus der Kgl. Techn. Versuchsanstalt zu Berlin.

[3]) Vergl. v. Bach: Versuche über den Gleitwiderstand einbetonierten Eisens. Berlin. 1905. A. W. Schade, und v. Bach: Versuche mit Eisenbetonbalken I und II. Julius Springer. Berlin. 1907 und 1909.

e) Die Haftfestigkeit nimmt i. d. R. mit zunehmender Länge des einbetonierten Eisens ab[1]).

f) Die Haftfestigkeit, ermittelt durch Herausdrücken des Stabes, ergibt sich höher als die beim Herausziehen — ein Ergebnis, das sich dadurch erklärt, daß bei der ersten Beanspruchungsart die Eisenquerschnitte infolge der Zusammenstauchung größer werden, während im zweiten Fall die Zugbelastung die Querschnitte verkleinert, wodurch das Herausreißen des Eisens befördert wird. Hieraus ergibt sich, daß in einem gedrückten Querschnittsteile im allgemeinen mit einem festeren Haften der Eisen als in der Zugzone zu rechnen sein dürfte[1]).

g) Die Größe der Haftfestigkeit wurde (bei einer Stablänge von 150 mm, Walzhaut, 15 v. H. Wasser und Herausziehen) für die verschiedenen Querschnitte gefunden zu:

	Mittelwert
1. Rundeisen 10 mm Durchm.	14,1 kg/qcm,
„ 20 „ „	18,5 „ ,
„ 40 „ „	27,7 „ ,
2. Quadrateisen, hochkantig gestellt von 20 mm Seite	26,2 „ ,
3. Flacheisen 4/40 mm } hochkantig gestellt	22,2 „ ,
4. „ 10/40 „ } hochkantig gestellt	19,6 „ .

Ähnliche Zahlen lieferten auch Versuche von v. Bach bei Biegungsbelastung von Eisenbetonbalken von 6 Monaten Alter.

Die Einzelwerte der Haftfestigkeit schwanken hier für gewöhnliche Rundeisen mit Walzhaut:

Bei Rundeisen	von	18	mm	Durchm.	zwischen	19,9	und	22,3	kg/qcm,
„	„	„	22	„	„	„	17,0	„	21,7	„ ,
„	„	„	25	„	„	„	21,0	„	22,7	„ ,
„	„	„	32	„	„	„	17,0	„	22,1	„ .

Weitere Versuche lieferten (neben Schlüssen, die sich nur auf den Eisenbetonbau beziehen und hier zu weit führen würden) das Ergebnis, daß die Haftung bei unter Wasser gelagerten Balken erheblich höher ist als bei solchen, die an der Luft abgebunden haben und zeigten, daß bei auf feuchtem Sande gelagerten 6 Monate alten Balken die Haftfestigkeit zwischen rd. 11 und 27 kg/qcm liegt. Man wird dementsprechend nicht fehlgehen, wenn man unter normalen Verhältnissen die Haftfestigkeit zwischen Eisen- und Zementmörtel zu etwa 20 kg/qcm annimmt, woraus bei 4—5facher Sicherheit sich für die zulässige Belastung ein Wert von rd. 4,5 kg/qcm ergibt, d. h. der gleiche Wert, wie er vorstehend als zulässige Schubspannung des Betons erwiesen wurde. Es ist auch durchaus angebracht, beide Werte gleich zu nehmen bzw. die erlaubte Haftspannung durch die gestattete Schubspannung zu begrenzen, weil beim Lösen von Beton und Eisen sehr leicht die Trennung in einer feinen, an letzterem festsitzenden Mörtelschicht erfolgen kann, d. h. wirklich nur die Schubfestigkeit des Betons ausgenützt wird. Auch ist daran zu denken, daß Eisen nahe dem Rande des Betonquerschnittes bzw. Walzeisen wie ⊏ ⊥ L usw.-Profile durchaus nicht in ihrer Eisenoberfläche, sondern in dem umschriebenen Vieleck geringsten Umfanges herausreißen können.

---

[1]) Es ergab sich z. B.:

Länge = rd.	100	150	200	300 mm
Haftfestigkeit beim Herausziehen	25,1	30,6	15,6	15,3 } kg/qcm
Haftfestigkeit beim Herausdrücken	27,4	32,9	22,3	21,2 } kg/qcm
Vergrößerung um	9 %	7,5 %	44 %	39 %.

Schließlich sei bemerkt, daß die Haftfestigkeit zwischen Eisen und Beton in der Praxis tatsächlich nicht die wichtige Rolle spielt, die man ihr anfangs zugewiesen hatte, daß, je besser man gelernt hat, durch Umbiegungen usw. die Eisen fest im Beton zu verankern, um so mehr überhaupt eine Ermittelung der Haftspannungen entfallen kann; es kommt hinzu, daß ferner ihre theoretische Ermittelung an z. T. wenig zutreffende Annahmen gebunden, also unsicher ist und kaum jemals ein gut konstruiertes Eisenbetonbauwerk durch Überschreiten der Haftfestigkeit in Gefahr gebracht werden kann.

Allgemein wird die Festigkeit des Betons in jeder Hinsicht durch die Beschaffenheit seiner Zuschlagsmaterialien in hohem Maße beeinflußt sein. Hier kommen namentlich Sand, an seiner Stelle örtlich auch granulierte Hochofenschlacke, die aber genau und langdauernd, namentlich auf Treiberscheinungen in Verbindung mit Zementmörtel zu prüfen ist, sowie Kies und Steinschotter in Frage. Am geeignetsten ist scharfer Quarzsand mit rauher Oberfläche, der rein von pflanzlichen und erdigen, bituminösen usw., seine Oberfläche bedeckenden Bestandteilen sein soll. Tonbeimengung im Sand schadet nichts, sobald der Ton fein verteilt neben dem Sande und in geringerer Menge vorkommt, ja er kann in solchem Falle sogar die Dichtheit und Festigkeit des Enderzeugnisses günstig beeinflussen; hingegen ist ein Sand von der Mörtel- und Betonbereitung auszuschließen bzw. zunächst stark zu waschen, dessen einzelne Körnchen mit feinem Ton umhüllt sind, da ein solcher in dieser Form ein Verkitten von Sand und Zement verhindern würde. Auch ist von besonderer Bedeutung, daß das Korn des Sandes ein verschiedenes ist, damit die feineren Teile in den Lücken zwischen den gröberen gerade Platz finden und ein möglichst porenfreies, dichtes Gemenge entsteht[1]). Dies empfiehlt sich auch vom wirtschaftlichen Standpunkte, da gleiche Korngrößen größere Hohlräume bedingen, die mit Zement ausgefüllt werden müssen, dessen Menge um so größer wird, je kleiner das Korn ist, da hiermit die Summen der Oberflächen steigen.

Bei Verwendung von Kies (Gruben- und Flußkies) und Steinschotter aus Natur- oder Kunststeinen werden im allgemeinen Bestandteile von 7 bis 70 mm Durchmesser verwendet, wobei naturgemäß für die Größtwerte der zulässigen Korngröße die Art und Massigkeit, sowie die Ausführung des Bauwerks eine entscheidende Rolle spielen. Zudem ist das Zusatzmaterial so zu wählen, daß es in seiner Härte dem erhärteten Zementmörtel angenähert angepaßt ist bzw. ihn übertrifft, da die Betonfestigkeit nicht unerheblich von der Güte der Schotterzuschläge abhängig ist[2]); auch ist ein Beton aus dauerhaftem Steinschlag i. d. R. besser als ein gleichartiger unter Verwendung von Kies, da hier — abgesehen von oft vorhandener größerer Härte — die rauhen Außenflächen der Schottersteine ein besonders gutes Verkitten bewirken. Hingegen ist der Kies meist dadurch im Vorteil, daß er sehr verschiedene Porengröße enthält — auch Sand — und demgemäß die Porenmenge kleiner ist als wie bei dem angenähert gleichkörnigen Schotter; jedoch spielt diese Frage hier nicht die Rolle wie beim Mörtel, da letzterer hier ja als plastisches Material die Hohlräume ausfüllt. Zu Schottermaterial empfehlen sich nicht — abgesehen von besonders guten und dichten Steinen — Ziegelsteine, Sandsteine und viele Kalksteine, da sie meist, neben geringer Härte und Festigkeit, zu viel Wasser schlucken und somit dem Zementmörtel nicht selten das zu seiner Erhärtung notwendige

---

[1]) Vergl. hierzu die Ausführungen von Martens über diesen Punkt in den Mitt. d. Berl. Kgl. Techn. Vers.-Anst. v. Jahre 1897.

[2]) Vergl. Protokoll 1903. S. 174. Unters. v. R. Dyckerhoff u. die Mitt. aus der Kgl. Techn. Versuchsanst. Berlin. 1909.

Wasser entziehen. Am besten eignen sich Hartgesteine mit grobkörnigem Gefüge, die, beim Zerkleinern meist in verschiedene Korngröße zerfallen und somit neben der größeren Härte die oben erwähnten Vorzüge des Kieses besitzen.

9. Das Verhalten des Zementmörtels bzw. Betons gegenüber der Einwirkung chemisch wirkender Wässer.

Hier kommt als besonders wichtig für bauliche Verhältnisse in Frage der Einfluß von kohlensäurehaltendem Wasser, von Kanalwässern und Moorwasser.

Während die in der Luft vorhandene Kohlensäure, indem sie das im Zement enthaltene Kalkhydrat in $CaCO_3$ umwandelt, günstig auf seine Verfestigung hinwirkt, ist der Einfluß von im Wasser enthaltener freier Kohlensäure auf Zementmörtel — vorwiegend in Form von Putz, daneben auch Beton — häufig als schädlich befunden worden. Namentlich hat sich diese Erscheinung bei Quellwasserbehältern gezeigt und zwar um so mehr, je schneller das Wasser durch sie hindurchfließt und je mehr für eine dauernde Reinhaltung der Wandungen Sorge getragen wird. Die im Wasser enthaltene freie Kohlensäure bildet mit dem Kalkhydrat des Zementes das in Wasser lösliche Salz des doppelt kohlensauren Kalkes und bewirkt somit ein Auslaugen des Zementmörtels, fortschreitend mit der Schnelligkeit der Wassererneuerung und damit mit der Zeit. Wenn sich auch hierbei an der Oberfläche der angegriffenen Putzfläche eine gallertartige, kieselsäurereiche Schutzschicht bildet, so vermag diese doch nicht eine dauernde Sicherung abzugeben, umso weniger als sie nicht allzufest mit der Unterfläche verbunden ist und durch die notwendige Reinigung der Behälter von Zeit zu Zeit beseitigt werden muß. Günstig gegen diese Angriffe freier im Wasser enthaltener Kohlensäure wirkt einerseits ein Zusatz zum Zementmörtel und Beton, der geeignet ist, das Kalkhydrat in eine unlösliche und durch CO_2 unzersetzbare Verbindung überzuführen (z. B. in kieselsauren Kalk), wie dies ein geeigneter Zusatz guten Trasses tut, oder ein Schutzanstrich, für den sich namentlich Siderosthen-Lubrose und Dr. Roths Inertol als recht wirkungsvoll erwiesen haben[1]); hierbei ist darauf zu achten, daß die Zementputzschicht vor Anbringung des Anstriches vollkommen ausgetrocknet ist. Im allgemeinen günstig wirkt zudem ein Zementputz 1 : 1, der mit reinem Zement geglättet wird. Im übrigen sei auf die Versuche von Schiffner über den Einfluß der Wasserkohlensäure auf Zementputz und die Ergebnisse dieser Arbeit in den Protokollen des V. d. deutsch. Portl.-Zem.-Fabr. 1898—1901 verwiesen.

Durchaus bewährt hat sich Zement in städtischen Kanälen, da in den Kanalwässern sich einerseits die sehr verschiedenartigen Stoffe zu einem großen Teile neutralisieren und andererseits ein aus den Fett usw. -Bestandteilen der Kanalwässer sich auf den Sielwandungen bildender Niederschlag als gute Schutzschicht wirkt. Hingegen haben in einzelnen Fällen, wie Bredtschneider-Charlottenburg nachgewiesen, Kanalgase den Zementmörtel in der Art geschädigt, daß durch die mit Schwefelwasserstoff gesättigte Luft Bildungen von Gips eintraten, die eine Zerstörung der Zementmörtel zur Folge hatten. Diese Schädigung läßt sich jedoch durch gute Lüftung der Kanäle mittelst zahlreicher Hausanschlüsse beseitigen bzw. von vornherein vermeiden.

Gefährlich für den Bestand von Betonbauten sind i. d. R. Moorwässer und Moorboden, und zwar sowohl wegen der hier stets enthaltenen Humussäure, als auch — und zwar in sehr vermehrtem Maße — durch den Gehalt an Schwefelkies, der bei Luftzutritt

[1]) Vergl. S. 552 u. 553, sowie die diesbezüglichen Ausführungen in der D. B. 1908. S. 153 und Tonind.-Z. 1908. Nr. 102.

sich in Eisensulfat oxydiert oder zur Bildung von Schwefelsäure unmittelbar führen kann; daß alle leicht löslichen schwefelsauren Salze sich mit dem Kalke des Zementes zu Gips umbilden, dieser aber durch Aufnahme von 2 Molekülen Wasser eine Volumenvergrößerung bewirkt und somit eine Spreng- und Zerstörungswirkung ausübt, wurde schon auf S. 640 bei den Treiberscheinungen hervorgehoben; hier kommt noch hinzu, daß das sich bildende Kalziumsulfat auch befähigt ist, mit dem im Zement enthaltenen Aluminium ein Doppelsalz ein Kalzium-Aluminum-Sulfat zu bilden, das bis zu 30 Molekülen Wasser aufzunehmen vermag, also gegenüber dem Gips eine sehr erhöhte Sprengwirkung ausüben muß[1]).

Beim Antreffen von moorigen Schichten sind zunächst deren Bestandteile auf ihre Schädlichkeit hin durch eine chemische Analyse festzustellen und, falls besondere Gefahr vorliegt, einem anderen Baumaterial als dem Zementbeton der Vorzug zu geben. Da aber alles Mauerwerk wegen seines Mörtels und Putzes auch hier der geringeren oder größeren Zerstörung anheimfallen würde, so ist eine Sicherung von außen her zu schaffen. Hier kommt in Frage eine Umdämmung des Baues, wenn möglich, innerhalb der Moorschichten mit Ton oder Lehm, auch reinen Sandschichten, ferner ein unmittelbarer wasserdichter und säurefester Überzug, wie ihn z. B. ein Goudronanstrich mit daraufgeklebter Dachpappe oder Asphaltfilzplatten bilden. Teeranstriche gewähren keinen ausreichend dauernden Schutz, da sich Schwefelsäure mit den Teerteilprodukten zu wasserlöslichen Sulfosäuren umsetzt.

Anschließend sei erwähnt, daß gegenüber den Rauchgasen der Lokomotiven usw. die Verwendung von Beton und Eisenbeton bisher zu keinem Bedenken Veranlassung gegeben hat. Wenn auch festgestellt worden ist, daß die Rauchgase schweflige Säure abscheiden und diese unter Zutritt der Luft sich mit dem Kalk des Zementes wiederum zu Gips umbildet, so hat doch der Beton hierdurch keine nennenswerte Beeinträchtigung an seiner Festigkeit wie an seinem Aussehen erfahren. Auch das in Beton eingebettete, mit nur wenig Mörtel überdeckte Eisen hat sich, bei guter Umhüllung, durchaus und dauernd rostfrei gehalten, sodaß auch die Befürchtungen, daß der Verbundbau bei Brücken usw. durch die Gase der Lokomotiven in seinem Bestande schwer leiden könne, als übertrieben bezeichnet werden können. Dies bestätigen die Beobachtungen an den Rauchabführungskanälen aus Eisenbeton in Lokomotivschuppen[2]).

10. Über die Leitungsfähigkeit von Beton gegenüber dem elektrischen Strome liegen ältere Versuche von Lindeck vor, welche erkennen lassen, daß Beton ein schlechter elektrischer Leiter ist und um so weniger gut leitet, je magerer und je mehr er durch Hohlräume durchsetzt ist, daß jedoch sein Widerstand — z. T. sehr erheblich — bei Durchfeuchtung abnimmt und stark bei Erwärmung steigt. Aus neuen, vom deutschen Ausschusse für Eisenbeton durchgeführten bzw. eingeleiteten Versuchen[3]) hat sich ferner ergeben, daß der Anfangswiderstand des Betons regelmäßig rasch bis zu einem Kleinstwert fällt, entsprechend der Erwärmung des Betons durch den Strom, daß er dann aber wieder steigt; hierbei verhält sich die Körpertemperatur umgekehrt. Es dürfte Beton demgemäß zu den Leitern zweiter Klasse zu zählen sein. Wahrscheinlich

---

[1]) Vergl. hierzu: Protokoll des Vereins Deutscher Portland-Zement-Fabrikanten. 1905. S. 224. D. B. 1908. S. 466 und Arm.-Bet. 1909. S. 95. (Ausführungen von Dr. E. Stephan.)

[2]) Vergl. die betreffenden Ausführungen von Th. Böhm auf der Tagung des Deutschen Betontages im Protokoll von 1909.

[3]) Vergl. Heft 15 der Veröffentlichungen des deutschen Ausschusses für Eisenbeton. Versuche über den Einfluß der Elektrizität auf Eisenbeton (Prof. Berndt) u. die Mitteilung über die ähnlichen Dresdener Versuche in der 4. Auflage von Büsing-Schumann, der Portlandzement usw. S. 174 und 175.

ist auch, daß durch die elektrische Beeinflussung des Betons sich dessen Festigkeit — allerdings nicht sehr erheblich — verringert, wobei Spannungsgröße und Stromdichte von wesentlichem Einflusse sind. Beim Eisenbetonbau kommt hinzu, daß infolge der Zersetzung des im Beton vorhandenen Wassers durch den elektrischen Strom sich Rost am Eisen bilden kann, der allerdings nur bei starkem Eisenquerschnitte und hohem, im Hochbau wenigstens kaum auftretendem Wassergehalte des Betons durch die mit seiner Bildung Hand in Hand gehende Volumenvergrößerung eine Sprengwirkung auf den Beton auszuüben vermag[1]). Es gilt dies jedoch nur für Gleichstrom, während bei Wechselstrom infolge des dauernden Wechsels von Anode und Kathode eine elektrolytische Wirkung nicht eintritt. Es sei hinzugefügt, daß die im allgemeinen bei vagabundierenden Erdströmen höchstens vorhandene Stromdichte so gering ist (= 0,001 Amp./qdcm), daß sie für eine Zerstörung des Eisenbetons bei Hochbauten nicht in Frage kommen kann, abgesehen von dem meist auch fehlenden, erforderlichen Wassergehalte, und daß auch — wie Versuche nachgewiesen[1]) — bei plötzlichen blitzähnlichen Entladungen eine besondere Gefahr nicht besteht. Hier besteht die Wirkung der Entladungen im wesentlichen darin, daß sich der Strom zunächst eine Funkenbahn durch den Beton bildet, welche infolge der Wärmewirkung verglast und sich zu einer Röhre erweitert. In feuchtem Beton sind diese Blitzkanäle nur sehr klein und kaum erkennbar, da hier die ganze Betonmasse, die — wie vorerwähnt — feucht erheblich besser leitet, einen durchgehenden Leitungsweg für die Verästelung und Verteilung des Stromes bildet.

11. Über den Einfluß von Kälte und Wärme auf die Erhärtungsfähigkeit des Betons geben neben älteren diesbezüglichen Untersuchungen wiederum systematische Arbeiten des deutschen Ausschusses für Eisenbeton Aufschluß[2]). Die allgemeinen Ergebnisse der auf Druckfestigkeitsbestimmungen beruhenden Untersuchungen werden von Gary in den folgenden Schlüssen zusammengefaßt:

a) Warmes Wetter beschleunigt das Erhärten von Beton und führt zu höherer Endfestigkeit, falls man für das Abbinden bei mäßiger Wärme Sorge trägt, und namentlich den weichen Beton vor dem Austrocknen bewahrt. Starke Wärmestrahlung wirkt auf frischen Beton in fetten Mischungen unter Umständen schädlich, in magerer Mischung nützlich, wenn die Wärme nicht zu lange anhält und der Beton vor Austrocknung geschützt wird.

b) Kühle Witterung (etwa + 5° C) schadet weder der endgültigen Festigkeit des erdfeuchten noch des weichen Betons, vorausgesetzt, daß der Beton noch in den ersten Monaten seiner Erhärtung Gelegenheit hat, in normalen Temperaturen (+ 15 bis + 20° C) zu erhärten. Magere Betonmischungen können unter dieser Voraussetzung bei kühler Witterung (größerer Luftfeuchtigkeit) unter Umständen stärker erhärten als bei Zimmerwärme.

c) Geringer Frost (— 5 bis — 10° C) schadet, solange der Beton bei normalen Temperaturen erzeugt wurde, seiner Erhärtungsfähigkeit nur wenig; er hält nur die Entwickelung der Endfestigkeit zurück. Die Zeit, die der Beton im Frost steht, kommt für seine Erhärtung nicht in Betracht. Der Beton erlangt aber seine natürliche

---

1) Vergl. hierzu auch: Der Portlandzement und seine Anwendungen im Bauwesen. 4. Auflage. 1912. Verlag der Deutschen Bauzeitung, S. 168—175, sowie die in Anm. 3 auf S. 655 angeführten Untersuchungen und die Ausführungen im Arm.-Beton. 1910. S. 393. 1911. S. 67 und 350 und 1912. Juli-Heft. F. l'Allemand: Versuche über den Einfluß der Elektrizität auf Eisenbeton.

2) Vergl. Heft 15 der Veröffentlichungen. Bericht erstattet von M. Gary.

Endfestigkeit, wenn er nach dem Frost Zeit genug zur Nacherhärtung in normaler Temperatur erhält.

Die Ausdehnungszahl des Zementmörtels und -Betons bei Temperaturerhöhung bzw. -Erniedrigung kann nach vielfachen Untersuchungen[1]) zu rd. 0,000012, d. h. ebenso hoch wie die des schmiedbaren Eisens angenommen werden, ein Verhältnis, welches für den Bestand der Verbundkonstruktionen, d. h. das gleichmäßige, rißfreie Zusammenarbeiten von Beton und Eisen in diesen, von grundlegender Bedeutung ist. Wenn auch bei verschiedener Zusammensetzung des Betons geringe Abweichungen der Wärmeausdehnungszahl beobachtet worden sind, so sind die Abweichungen doch so gering, daß ihnen eine praktische Bedeutung nicht beizumessen ist, namentlich im Sinne des Verbundbaues. Auch haben gerade hier Probebrände und Schadenfeuer ein einwandfreies, ganz gleiches Ausdehnen sowohl von Eisen als auch von Beton bei sehr hohen Temperaturen erwiesen. Günstig wirkt hierbei namentlich auch auf die Feuersicherheit der Eisenbetonbauten ein, daß die Wärmeleitungsfähigkeit des Betons gering ist, daß der Beton im allgemeinen als ein wärmeträger Körper bezeichnet werden kann, es also sowohl geraume Zeit dauert, bis der Beton die höhere Wärme seiner Umgebung angenommen oder an sie seine Eigenwärme abgegeben hat. Im allgemeinen zeigt sich in dieser Hinsicht Beton wie ein körniges Naturgestein, während im Vergleiche zu Ziegelmauerwerk seine Wärmeleitungsfähigkeit etwas größer ist.

Es folgt hieraus weiter, daß ein Beton- oder Verbundbau, namentlich ein solcher mit stärkeren Querschnittsabmessungen, auch nicht die Schwankungen der Tagestemperatur mitmachen wird, da die träge Fortleitung der Wärme in ihn gar nicht die, i. d. R. nur kürzere Zeit wirksamen, äußersten Temperaturen eindringen läßt. Deshalb ist es auch durchaus unberechtigt, für die statischen Berechnungen solcher Bauwerke Temperaturunterschiede zu verlangen, wie sie z. B. bei Eisenbauten eintreten können (von $\pm$ 35 bis 40° C). Im Verbund- und Betonbau genügt es vollkommen mit 15 bis 20° C Unterschied zu rechnen, da extreme Temperaturzustände schon vorbei gegangen sein dürften, ehe der Beton Zeit gehabt hat, sich ihnen anzupassen.

12. Zementmörtel und -Beton gehören durchaus zu den feuersichersten Baustoffen. Wenn auch, namentlich bei schneller Hitzesteigerung, die Festigkeit, und zwar mehr auf Zug als auf Druck, zurückgeht, ferner bei plötzlicher Abkühlung sich nicht unerhebliche Festigkeitsverminderungen, auch im Hinblicke auf das Haften von Eisen und Beton zeigen, so muß doch hervorgehoben werden, daß der Zementbeton sich bei der gewaltigen Summe von Brandproben und Schadenfeuern als ein hervorragend feuersicherer Baustoff bewährt hat und namentlich die Eisenbetonbauten zu den feuersichersten unserer Konstruktionen zu zählen sind[2]).

13. Die Einwirkung des Zementmörtels und -Betons auf Eisen ist schon auf S. 651 behandelt worden. Anschließend sei hervorgehoben, daß Zement einen vorzüglichen Schutz des Eisens bildet, sein Weiterrosten verhindert, ja sich sogar rostverzehrend in besonderen Fällen erzeigt hat. Hingegen ist die Einwirkung von Zement auf manche anderen Metalle, namentlich Blei und Zink eine sehr ungünstige, nicht selten zur voll-

[1]) Die ersten Untersuchungen stammen von Bonniçeau her. Ann. d. ponts et chauss. 1863. S. 181.

[2]) Vergl. hierzu u. a.: Die Veröffentlichungen des Deutschen Betonvereins: 1. Feuersicherheit von Beton, Eisenbeton, Eisen und Holz (mit 41 Textabb.) und 2. Die Feuersicherheit des Eisenbetons bei den größeren Brandkatastrophen im Jahre 1911. Vgl. hierzu auch die Untersuchungen v. Germer: Einfluß höherer Temperaturen auf die Festigkeit von Mörtel, Mauerwerk und Beton. Tonind.-Zeitg. Verlag 1911.

kommenen Zerstörung dieser führend; dies tritt wahrscheinlich aber nur alsdann ein, wenn der Mörtel stark porös ist und Luft wie Feuchtigkeit durch ihn hindurch zum Metall zu gelangen vermag und somit letzteres der lösenden Wirkung von Alkalien ausgesetzt ist. Zum Schutze werden meist isolierende Anstriche ausreichen, wie Asphalt, Asphaltlack und ähnliches.

14. Die Wasserdichtheit des Zementbetons und -Mörtels hängt vorwiegend ab von der Feinheit der Zementmahlung, der Art und Güte der Zuschläge, ihrer Korngröße, d. h. der geringeren und größeren Ausbildung von Porenräumen, endlich der Mischung und der Verarbeitung, namentlich in letzterer Hinsicht auch von dem Wasserzusatze. Es sei von vornherein betont, daß es kaum möglich ist, überhaupt einen vollkommen wasserdichten Beton zu erzielen, namentlich in der ersten Zeit nach seiner Erhärtung und bei höherem Wasserdrucke. Im Laufe der Zeit nimmt die Dichtheit zwar zu, wie namentlich Erfahrungen im Talsperrenbau und bei Betonbehältern und Gewölben gezeigt haben, fast vollkommene Dichtheit läßt sich aber auch hier nur durch einen Putz, nicht selten mit besonderen Beimengungen, endlich durch Schutzanstriche erreichen. Während als wasserdichter Zementputz vorwiegend ein solcher in Mischung von etwa 1 : 1 und in mehreren Schichten aufgetragen, mit einem Glattstriche aus reinem Zement in Frage kommt, sind als Beimengungen zur Erzielung der Dichtheit in erster Linie Traß, daneben hydraulischer und (weniger gut) Weißkalk in Anwendung. Hier beruht die Wirkung einerseits auf Bildung von Kalksilikaten, andererseits auf einer mechanischen, allmählichen Abdichtung durch Einsinterung von Kalk.

Als Schutzanstriche kommen in Frage Ölfarben, namentlich im Hochbau, Testalin (vgl. S. 90), der imprägnierte Lieboldzement[1]), Schmierseife dem Anmachewasser zugesetzt[2]), ferner die neueren Mittel Ceresit[3]) und Aquabar[4]), deren erstes eine aus Teerstoffen hergestellte Bitumenemulsion, nicht bekannt gegebener Zusammensetzung zeigt, während Aquabar eine gelatineartige, in Wasser lösliche Wasserglasseife darstellt. Endlich sei auch das schon auf S. 553 u. 654 genannte Inertol von Dr. Roth (Frankfurt a. M.) erwähnt, welches sich als ausgezeichnetes Abdichtungsmittel (ähnlich wie Siderosthen-Lubrose S. 552 u. 654) alsdann bewährt hat, wenn das Erhärten und Abtrocknen des Zementkörpers abgewartet werden kann; hier ist die Zuverlässigkeit der Abdichtung leicht zu kontrollieren, eine Verminderung der Betonfestigkeit tritt nicht ein, auch schaden dem Anstriche keine sauren Wässer bzw. Rauch, Moorwasser, organische Zersetzungsprodukte usw.[5]).

Daß naturgemäß auch mit den auf S. 90 bereits ausführlich erwähnten Keßlerschen Fluaten gute Dichtungserfolge zu erzielen sind, sei kurz bemerkt.

---

[1]) Liebolds patent. wasserdichter Zement wird durch Zumischen von Stearin mit wenig Kolophonium und Pottasche zum Portlandzement hergestellt.

[2]) Vergl. u. a.: Versuche mit wasserdichtem Beton von A. Grittner. Arm.-Bet. 1912. Heft 1. S. 13. Zu den guten, dort mitgeteilten Ergebnissen bemerkt Dr. Roth in Arm.-Bet. 1912 H. 6 durchaus richtig: Zusätze von Schmierseifenlösung oder ähnliche Beimischungen zum Beton oder Zement kommen als abdichtende Mittel vorzugsweise gegen neutrale Wässer dann in Betracht, wenn mit der Fertigstellung des Betons oder des Zementputzes auch die Abdichtung beendet sein muß. Dagegen ist dieses Dichtungsverfahren zweckwidrig, wenn die Festigkeit des Zementes nicht herabgesetzt werden darf und die einwirkenden Wässer chemisch aggressiv und namentlich sauer sind.

[3]) Ceresit wird geliefert von den Wunnerschen Bitumenwerken Unna i. W.

[4]) Fabrikant: Aquabar G. m. b. H. Berlin. Zu einen cbm Zementmörtel werden etwa 2 kg Aquabar gebraucht.

[5]) Betreffend der Bewährung des Inertol vergl. u. A. Arm.-Bet. Heft 6. 1912. S. 241—243.

Soll ein Zementputz oder dgl. Anstriche von Ölfarbe erhalten, so muß er vollkommen erhärtet, trocken und durch die Einflüsse der Atmosphäre bzw. öfteres Abwaschen an seiner Außenfläche ausgelaugt sein, weil die Alkalien des frischen Zementmörtels die Farben zersetzen; auch hier ist ein Fluatieren von bestem Erfolge, namentlich das Magnesiumfluat. Neuerdings sind auch verschiedene Mittel als Unterstriche auf frischen Zementmörtel und Unterlage für Farbanstriche in den Handel gebracht, so „Bontri", Lapidurit, Preolit, Aphrodin u. a. m. — vergl. auch § 106.

15. Über die Ausbeute der Zementmörtel und die zu 1 cbm Mörtel notwendigen Rohstoffe gibt die nachfolgende Zusammenstellung Auskunft:

1 Zement + 1 Sand + 0,50 Wasser = rd. 1,6 Mörtel.
Erfordert wird an Zement 960 kg, an Sand 680 l, an Wasser 250 l
1 Zement + 2 Sand + 0,53 Wasser = rd. 2,2 Mörtel.
Erfordert wird an Zement 700 kg, an Sand 980 l, an Wasser 240 l
1 Zement + 3 Sand + 0,64 Wasser = rd. 2,9 Mörtel.
Erfordert wird an Zement 490 kg, an Sand 1040 l, an Wasser 230 l
1 Zement + 4 Sand + 0,80 Wasser = rd. 3,7 Mörtel.
Erfordert wird an Zement 370 kg, an Sand 1050 l, an Wasser 220 l

} für 1 cbm Mörtel.

Die Dichtigkeit dieser Mörtel beträgt in der obigen Reihenfolge: 2,45, 1,26, 0,93 und 0,80.

In gleichem Sinne ergibt die nachfolgende Zusammenstellung für die meist üblichen Betonmischungen die Ausgiebigkeit und die Summe der Einzelbestandteile.

Mischungsverhältnis Z. : S. : St.	Ausbeute an Beton	1 cbm Beton erfordert an Z. (lose) cbm	S. cbm	St. cbm	Kosten für 1 cbm Beton Mark	Verwendungsgebiet
1 : 2 : 4	4,8	0,21	0,4	0,9	30,0	Gewölbe, Pfeiler, Decken
1 : 3 : 4	5,3	0,13	0,6	0,8	28,0	
1 : 3 : 6	6,8	0,15	0,45	0,9	27,5	Fundamente, Widerlager u. dgl.
1 : 4 : 8	8,9	0,12	0,46	0,95	24,0	
1 : 5 : 10	11,4	0,09	0,47	0,93	22,0	Weniger stark belastete Mauern usw.
1 : 3 —	2,9	0,39	1,04	—	21,0	Eisenbetonbau
1 : 4 —	3,7	0,32	1,05	—	18,0	

Der Wasserbedarf ist verschieden, je nachdem der Beton erdfeucht oder plastisch weich) ist, vgl. S. 664.

Die Kosten der Rohmaterialien kann man annähernd danach schätzen, daß 1 t Portlandzement (120 l) etwa 6,00—6,50 Mk., 1 cbm Sand 4—5 Mk., 1 cbm Steine 6—8 Mk., 1 cbm Grubenkies etwa 6 Mk. kosten.

Die Hauptanwendungsgebiete des Portlandzementes

erstrecken sich auf seine Benutzung als Mauermörtel, Putzmörtel und Beton.

Zu **Mauermörtel,** der meist im Verhältnis 1 : 3 bis 1 : 4 gemischt wird, ist scharfer, gemischt-körniger Sand zu verwenden, der frei von organischen, namentlich torf- oder humusartigen Stoffen ist und nur geringe Beimengungen von Lehm oder Ton enthält; daß letztere Bestandteile durchaus schädlich sind, wenn sie an der Oberfläche der ein-

zelnen Sandkörner festhaften, wurde schon auf S. 653 erwähnt. Derartige Sande sind vor ihrer Verwendung unbedingt durch Waschen zu reinigen.

Ein Mischungsverhältnis von 1 : 2 wird nur alsdann angewendet, wenn eine besonders hohe Festigkeit der Mauerfuge verlangt, oder — wie bei Estrichen — eine hohe Widerstandskraft gegen Abnutzung gefordert wird; auch empfiehlt sich eine fette Mischung beim Vergießen der Fugen, da hier sonst bei hohem Sandzusatze eine Trennung der spezifisch verschieden schweren Mörtelbestandteile, bevor der Mörtel erhärtet ist, zu befürchten steht.

Wie erwähnt, ist das normale Mischungsverhältnis 1 : 3—1 : 4; man kann hier nach Erhärtung von 28 Tagen mit Zugfestigkeiten von rd. 20 kg/qcm und Druckfestigkeiten von etwa 240 kg/qcm, also einem gegenseitigen Verhältnisse von 1 : 12 rechnen. Bei der Mörtelherstellung wird in der Art verfahren, daß auf die genau abgemessene Menge Sand der zu ihr gehörende Zement aufgestreut und mit ersterem so lange trocken vermischt wird, bis das Gemenge von durchaus gleichmäßiger Farbe ist; erst alsdann wird das reine, von organischen Verunreinigungen und Salzen freie Wasser zugefügt, dessen Menge sich zwar in engen Grenzen nach der Witterung richtet, d. h. bei heißem Wetter größer ist als bei kühler Witterung, im allgemeinen aber so groß gewählt wird, daß ein steifer Mörtel entsteht. Dieser ist möglichst bald zu vermauern, da er durch längeres Stehen weniger gut, schließlich — in sich abbindend — unbrauchbar wird; aus demselben Grunde ist auf ein gutes Ausarbeiten der Kästen und Vermeidung der Vermengung alten und neu angemachten Mörtels besonders zu achten. Bei höherer Temperatur findet ein schnelleres Abbinden statt als bei tiefer. Unter —5° C treten die zur Erhärtung des Mörtels notwendigen chemischen Reaktionen nicht mehr ein; hier bedarf es daher, wenn man nicht überhaupt vorzieht, mit den Mauerarbeiten auszusetzen, einer Erwärmung des Anmachewassers und der Steine.

An Stelle von Zementmörteln, magerer als 1 : 4, verwendet man zweckmäßiger verlängerten Zement-, d. h. Kalkzementmörtel.

Der gleich dem Mörtel zu mischende und zu behandelnde **Zementputz,** der nur auf vorher gut gesäuberte und mehrfach genetzte, rauhe Flächen aufgebracht werden darf, wird, wenn er den atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt ist, nicht zu fett und mit feinem Sande, bei höherem Gehalt an diesem, auch mit Kalkzusatz hergestellt. Eine zu große Zementmenge befördert die Neigung zur Bildung von Schwindrissen; das gleiche tritt ein, wenn die Unterfläche wasserabsaugend ist und nicht für eine ausreichende Zuführung von Wasser auf die Putzfläche gesorgt wird. Ferner verlangt die Anwendung eines Zementputzes eine gute Isolierung der Mauer gegenüber der Grundfeuchtigkeit, weil sich sonst hinter dem Zementputze Feuchtigkeit bildet und dieser unter Einwirkung des Frostes abplatzt.

Eine vollkommen glatte Oberfläche des Putzes ist nur bei Wasser- und Tiefbauten zweckmäßig, in allen Fällen aber, in denen der Putz an der Luft erhärtet, deshalb nicht günstig, weil durch eine allzu dichte Außenfläche wiederum das Auftreten von Haarrissen befördert wird. Auch empfiehlt es sich, Putzarbeiten in Zement, wenn möglich, nur in den kühleren Jahreszeiten zur Ausführung zu bringen. Über die Mittel, den Putz wasserdicht oder wasserabweisend zu machen, vgl. S. 658 und § 106.

Die Herstellung von **Beton** erfolgt von Hand aus oder durch Maschinenmischung. Letztere ist, wie schon auf S. 647 hervorgehoben wurde, der ersteren überlegen, weil der hierbei erzielte Beton etwa 25—30 v. H. erhöhte Druckfestigkeit aufweist. Über die Herstellung, das Einbringen usw. von Beton sowie die Prüfung der aus diesem hergestellten Bauten, geben die im Jahre 1908 vom Deutschen Ausschusse für

Eisenbeton erlassenen Bestimmungen Auskunft; von ihnen sind nachstehend Auszüge mitgeteilt:

α) Auszug aus den allgemeinen Bestimmungen für die Vorbereitung, Ausführung und Prüfung von Bauten aus Stampfbeton.

Aufgestellt vom Deutschen Ausschuß für Eisenbeton 1908.

Stampfbeton wird erzeugt aus einer stampffähigen Betonmasse erdfeuchter oder weicher Art, der erst durch mehr oder weniger großen Aufwand von Stampfarbeit die zur Erreichung der erforderlichen Festigkeit notwendige Verdichtung gegeben werden muß[1]).

Sofern bei Stützen, Pfeilern usw. die Verhältnisse nicht eine geringere Inanspruchnahme bedingen, darf die Beanspruchung höchstens $^1/_5$ der Druckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen betragen[2]). Bei Beanspruchung auf Knickung darf die Belastung höchstens $^1/_{10}$ derjenigen Last betragen, welche den Bruch herbeiführen würde. Die Zugfestigkeit des Betons ist bei der Berechnung der größten Druckspannung nicht in Ansatz zu bringen.

Für jeden Bauteil ist die in Rechnung gestellte Druckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen anzugeben.

Sofern der Unternehmer die Baustoffe selbst liefert, ist diese Festigkeit von ihm zu gewährleisten[3]).

Gefordert sind zudem Angaben über die Mischungsverhältnisse des Betons, mit welchen die Festigkeiten erreicht werden sollen; ferner Angaben über den Ursprung, die Beschaffenheit und die Zusammensetzung (z. B. Größe der Anteile von Sand und Kies im natürlichen Kiessandgemenge u. dgl.) der zur Verwendung bestimmten Baustoffe, endlich Angaben über die Bereitungsweise des Betons, ob erdfeucht oder weich, ob Hand- oder Maschinenbeton, über die Art der Mischmaschine und über die größte Höhe der Stampfschichten in den verschiedenen Bauteilen.

Der Unternehmer ist, wenn ihm die freie Wahl der Baustoffe überlassen bleibt, verpflichtet, auf Anfordern des Bauherrn oder der Baupolizeibehörde zur Ergänzung seiner Eingaben, und zwar in der Regel vor Beginn der Bauarbeiten, den Nachweis zu erbringen, daß die vorgesehenen Mischungen mit den vorgesehenen Baustoffen und der

[1]) Die Bestimmungen können in vollem Umfange und ohne weiteres zunächst nur für Portlandzementstampfbeton Anwendung finden, denn nur für einen solchen Stampfbeton liegen bisher die ausreichenden Erfahrungen und Untersuchungen vor, um solche allgemein gültigen Regeln für seine Bereitung und Verarbeitung aufzustellen.

Wie weit diese Regeln auch auf andere Bindemittel anwendbar sind, bedarf noch besonderer Festsetzung von Fall zu Fall.

[2]) Unter Druckfestigkeit ist hier und im folgenden die Druckfestigkeit von Würfeln zu verstehen, welche nach Maßgabe der „Bestimmungen für Druckversuche bei der Ausführung von Bauten aus Stampfbeton“ vom Jahre 1908 angefertigt und geprüft worden sind (vgl. diese auf S. 667 u. ff.).

[3]) Auf die Festigkeit des Betons sind — abgesehen vom Mischungsverhältnis — von wesentlichem Einfluß: die Eigenschaften der Baustoffe, die Beschaffenheit und Menge des Wassers, die Art der Bereitung und der Verarbeitung der Betonmasse, die Behandlung des frischgestampften Betons und die Bedingungen, unter welchem er erhärtet, schließlich die Steifigkeit der Rüstungen, die Zuverlässigkeit der Arbeiter und der Aufsicht.

Nach dem Mischungsverhältnis allein, wie es bisher üblich war, darf daher die Güte eines Betons nicht bewertet werden; die Bewertung muß vielmehr in erster Linie nach der Druckfestigkeit erfolgen.

vorgesehenen Verarbeitungsweise die verlangten und gewährleisteten Druckfestigkeiten ergeben[1]).

Gelingt es dem Unternehmer nicht, die gewährleistete Druckfestigkeit nachzuweisen oder innezuhalten, so hat er, falls nichts anderes vereinbart ist, auf eigene Kosten durch geeignete Maßnahmen für Erzielung der erforderlichen Festigkeit Sorge zu tragen und den Nachweis des Erfolges zu führen.

Bereits fertiggestellter, minderwertiger Beton muß vom Unternehmer auf eigene Kosten wieder entfernt werden, falls nichts anderweitiges mit dem Bauherrn vereinbart wird.

Bei Frostwetter darf nur dann betoniert werden, wenn schädliche Einwirkungen des Frostes durch geeignete Maßnahmen ausgeschlossen werden. Gefrorene Baustoffe dürfen nicht verarbeitet werden.

Der Unternehmer von Betonbauten darf die unmittelbare Leitung derartiger Bauten nur solchen Leuten übertragen, welche diese Bauart gründlich kennen.

Alle Arbeiten müssen unter Leitung von geschulten, zuverlässigen Vorarbeitern verrichtet werden. Ein solcher Nachweis ist auf Erfordern zu erbringen.

Zement. Der Zement muß den Anforderungen der für Portlandzement geltenden Normen, besonders hinsichtlich der Raumbeständigkeit, Feinheit der Mahlung und Größe der Zug- und Druckfestigkeit entsprechen.

Raschbindender Zement, sogenannter Schnellbinder, darf zum Stampfbeton — von Ausnahmefällen abgesehen — nicht verwendet werden[2]).

Sand, Kies und sonstige Zuschläge. Im Sinne dieser Bestimmungen ist zu verstehen:

unter Sand: Gruben-, Fluß-, See-, Brech- oder Quetschsand usw. bis zu 7 mm Korngröße, auch können Schlackensand (gekörnte Hochofenschlacke geeigneter Zusammensetzung), Bimssand, Bimskies ebenfalls verwendet werden;

unter Kies: Kiesgraupen, Kiessteine, Kiesel, Hochofenschlacke, Bimskies von 7 mm Korngröße aufwärts bis 70 mm größter Abmessung;

unter Kiessand: das natürliche Gemenge von Sand und Kies, wie es sich in Gruben und in den Betten von Gewässern vorfindet;

unter Steingrus: zerkleinertes Gestein zwischen 7 und 25 mm;

unter Steinschlag: von Hand oder mit der Maschine zerkleinertes Gestein zwischen 25 und 70 mm größter Abmessung[3]).

[1]) Zur Beibringung des Beweises durch Druckversuche mit 28 Tage alten Probewürfeln aus den vorgesehenen Baustoffen bedarf es in der Regel einer Zeit von mindestens 5 bis 6 Wochen. Häufig wird eine solche Frist zwischen der Ausschreibung und der Eingabe der Angebote oder der Zuschlagserteilung nicht zur Verfügung stehen. In derartigen Fällen wird unter Umständen schon ein Druckversuch mit 14 Tage alten Betonwürfeln einen Schluß auf die nach 28 Tagen zu erwartende Festigkeit gestatten; außerdem muß aber der Nachweis mit 28 Tage alten Probewürfeln erbracht werden.

[2]) Das Abbinden wird beeinflußt durch die Wärme und Feuchtigkeit der Luft und die Wärme der zur Verwendung gelangenden Stoffe. Hohe Temperatur beschleunigt, niedrige verzögert das Abbinden.

In der Regel werden schnellbindende Zemente nach längerer Lagerung langsambindend; andererseits hat man beobachtet, daß langsambindende Zemente zu raschbindenden werden können. Es ist daher notwendig, vor der Verarbeitung nochmals Abbindeproben anzufertigen, um festzustellen, daß der auf der Baustelle lagernde Zement bei der Verarbeitung zu Beton langsam abbindet.

Bei Wasserandrang ist die Verwendung von schnellbindendem Zement vielfach erforderlich.

[3]) Die als Zuschlag verwendeten Baustoffe sollen in der Regel mindestens die gleiche Festigkeit besitzen wie der erhärtete Mörtel des Betons. Weiche Gesteine und schwach gebrannte Ziegelsteine

Sand, Kies und sonstige Zuschläge (sog. Schotter, Steinschlag, Klarschlag usw.) dürfen Beimengungen pflanzlicher Stoffe oder andere Verunreinigungen nicht enthalten[1]).

Zur Erzielung eines dichten Betons ist es erforderlich, daß Sand, Kies, Steingrus und Steinschlag gemischtkörnig sind, d. h. Stücke verschiedener Form und Korngröße in entsprechender Menge enthalten.

Größere druckfeste Steine können in Mengen bis zu 40 v. H. in den Beton eingebettet werden, sofern Zweck, Art und Abmessungen des Baukörpers dies zulassen und für eine sachgemäße Verteilung solcher Einlagen innerhalb des Betonkörpers, sowie für Verwendung ausreichend weicher Betonmasse zur Erzielung einer vollständig dichten Umschließung dieser Einlagen Sorge getragen wird.

Wasser. Das zu verwendende Wasser darf Stoffe, welche die Erhärtung des Betons beeinträchtigen, nicht enthalten. Bestehen Zweifel, so ist die Brauchbarkeit des Wassers vor der Verwendung durch Versuche festzustellen.

Betongemenge. Die Menge der einzelnen Bestandteile an Mischgut ist in jedem Falle vom Unternehmer anzugeben.

Auch sind Vorkehrungen zu treffen, die es ermöglichen, die Innehaltung dieses Mischungsverhältnisses jederzeit zu prüfen.

Sofern die Messung des Zements nach Raumteilen erfolgt, gilt als Voraussetzung, daß der Zement ohne Fall in das Maßgefäß eingeschüttet (nicht eingerüttelt) wird.

Zur Umrechnung von Raumteilen auf Gewichtsteile ist das Durchnittsgewicht des Portlandzementes mit 1400 kg/cbm anzunehmen.

Bei Benutzung von Maßgefäßen muß die Füllung in stets gleicher Weise bewirkt werden, damit die Massen möglichst immer dieselbe Dichtigkeit der Lagerung in den Gefäßen annehmen.

Kiessand und gemischter Steinschlag können in vielen Fällen in ungetrenntem Zustande verarbeitet werden. Es muß dann aber durch Siebproben bestimmt werden, in welchem Verhältnis zueinander Sand und Kies bzw. Steinschlag in dem Kiessand oder gemischten Steinschlag vorhanden sind. Durch entsprechenden Zusatz von Sand oder Kies bzw. Steinschlag ist das vorgesehene Mischungsverhältnis herzustellen.

Bei Herstellung von Beton, welcher zu statisch hoch beanspruchten Bauten verwendet werden soll, oder bei einem in der Zusammensetzung sehr wechselnden Kiessand wird im Einzelfalle zu entscheiden sein, ob seine vollständige Trennung in Sand und Kies notwendig erscheint[2]).

sind zu Stampfbeton nicht geeignet. Schlacke und ähnliche Materalien besonders zu prüfen, ist ratsam. In Flußkiessand enthaltene Kohlenteile können schädlich wirken.

[1]) Es läßt sich keine erschöpfende, allgemeine Bestimmung treffen, wie die Baustoffe beschaffen sein müssen, aus denen der Beton hergestellt wird. Das Hauptgewicht ist darauf zu legen, daß mit den verwendeten Baustoffen ein Beton von möglichst hoher, jedenfalls aber ausreichender Festigkeit erzielt wird.

Lehm, Ton und ähnliche Beimischungen wirken schädlich auf die Festigkeit des Betons, wenn sie am Sand und Kies fest haften. Sind sie im Sand fein verteilt, ohne an den Körpern zu haften, so schaden sie in der Regel nichts, sie können sogar unter Umständen die Festigkeit erhöhen. Im ersten Falle können die Baustoffe zuweilen durch Waschen zum Betonieren brauchbar werden, im zweiten Falle wäre Waschen dagegen vielfach verfehlt.

Über den Wert oder die Schädlichkeit solcher Beimengungen entscheiden in Zweifelsfällen Druckversuche an Betonwürfeln.

[2]) Die Verarbeitung des Kiessandes in ungetrenntem Zustande ist das wirtschaftlichere Verfahren und in den meisten Fällen zulässig. Die vollständige Trennung des Kiessandes mittelst Durchsiebens in Sand und Kies und die Herstellung des Betongemenges nach den im Mischungsverhältnis vorgesehenen Anteilen gewährleistet jedoch allein volle Gleichmäßigkeit des Gemenges und erleichtert

Mischweise. a) Handmischung: Bei Handmischung ist die Betonmasse auf einer gut gelagerten, kräftigen, dicht schließenden Pritsche oder auf sonst ebener, schwer absaugender und fester Unterlage herzustellen. Zunächst sind Sand bzw. Kiessand mit dem Zement trocken zu mischen, bis sie ein gleichfarbiges Gemenge ergeben; dann erst ist der Zuschlag (Kies, Steinschlag), der vorher genäßt und, wenn nötig, gereinigt werden muß, zuzusetzen; das Gemenge ist mit dem zugegebenen Wasser (vgl. Wasserzusatz) so lange weiter zu mischen, bis eine gleichmäßig feuchte Masse entsteht.

b) Maschinenmischung: Hierbei wird das Gemenge zunächst trocken (je nach der Art der Maschine 1/2 bis 1 Minute) und hierauf unter allmählichem Wasserzusatz so lange noch weiter vermengt, bis eine durchaus innig gemischte, gleichmäßig feuchte Masse entsteht[1]).

Sowohl bei Handbeton wie Maschinenbeton kann die Mischdauer dann als ausreichend angesehen werden, wenn die Steine allseitig mit innig gemischtem Mörtel behaftet sind.

Wasserzusatz. Der Zeitpunkt, in welchem während der Herstellung der Betonmasse das Wasser zugegeben wird, ist verschieden bei Hand- und Maschinenmischung, sowie auch abhängig von den Baustoffen.

Je nach der Menge des Wasserzusatzes, welche im übrigen nach der Art der Baustoffe, dem Mischungsverhältnis, der Witterung, dem Feuchtigkeitsgehalt und der Wasseraufnahmefähigkeit der Baustoffe gewählt werden muß, unterscheidet man erdfeuchte und weiche Betonmasse[2]).

Erdfeucht ist eine Betonmasse, die nur soviel Wasser enthält, daß erst nach beendeter Stampfarbeit die Oberfläche des Betons eben anfängt, Wasser abzusondern (zu „schwitzen“) oder unter dem Druck der Finger nachzugeben.

Für eine Betonmasse, die infolge der Eigenschaften des Sandes und der Zuschläge derartige Erscheinungen nach dem Stampfen nicht zeigt, gilt als Merkmal des erdfeuchten Zustandes, daß beim Formen eines Ballens mit der Hand deutlich sichtbare Nässe auf der Handfläche zurückbleibt.

Weich ist eine Betonmasse, deren Wasserzusatz so bemessen ist, dass die Ränder der durch einen Stampfstoß am fertig gestampften Betonkörper hervorgerufenen Vertiefung eine kurze Zeit stehen bleiben und nur langsam verlaufen, so daß eine verdichtende Wirkung von der Stampfarbeit noch erwartet werden kann[3]).

Verarbeitung der Betonmasse. Bei dem Einbringen der Betonmasse ist darauf zu achten, daß die Gleichmäßigkeit der Mischung erhalten bleibt. Gröbere Zuschlagteile, die sich abgesondert haben, sind vor dem Stampfen mit dem Mörtel wieder zu vermengen.

Die Betonmasse darf in die Verwendungsstelle (Baugrube, Verschalung) nur schichtweise und nur in solcher Höhe eingebracht werden, daß die Dicke der fertig gestampfen Schichten folgende Maße in der Regel nicht überscheitet:

---

die Prüfung. Da dieses Verfahren aber hohe Kosten verursacht, so müssen, wenn solches verlangt wird, entsprechende Vorschriften schon bei der Ausschreibung gegeben werden.

[1]) Maschinenbeton ist dem Handbeton bei sonst gleichen Bedingungen stets überlegen.

[2]) Bei trockener und heißer Witterung ist mehr Wasser erforderlich als bei kühlem und feuchtem Wetter. Bei Arbeiten in feuchten Baugruben wird eine Beschränkung des Wasserzusatzes stattfinden müssen, in stark absaugendem Boden Erhöhung des Wasserzusatzes und vorheriges Annässen des Bodens.

[3]) Wann erdfeuchter und wann weicher Beton vorzuziehen ist, ist von Fall zu Fall zu entscheiden.

bei erdfeuchtem Stampfbeton je nach der Beanspruchung 15 bis 20 cm,
bei weichem Stampfbeton je nach der Beanspruchung 20 bis 30 cm.

In diesen Grenzen ergibt die geringere Schichthöhe die höhere Festigkeit.

Die einzelnen Schichten sollen, wo es die Bauausführung gestattet, rechtwinklig zu der im Bauwerk auftretenden Druckrichtung eingelegt werden und, wo dies nicht möglich ist, gleichlaufend mit der Druckrichtung[1]).

Sie müssen in der Regel frisch auf frisch verarbeitet werden, damit ein ausreichend festes Binden der Schichten untereinander eintritt.

Die Oberfläche muß durch Abkehren mit Stahlbesen aufgeraut werden.

Treten frische Stampfschichten mit bereits abgebundenen in Berührung, so muß für ausreichend festen Zusammenschluß der Betonmassen gesorgt werden. Neben einer geeigneten Gliederung der in Betracht kommenden Betonkörper selbst wird hierfür empfohlen, unmittelbar vor Aufbringung der frischen Betonmasse die Verbindungsfläche mit Stahlbesen naß und scharf abzukehren und mit einem dünnen Zementbrei einzuschlämmen. Bei Verarbeitung steinreicher Betonmasse empfiehlt sich außerdem das Einbringen einer dünnen Schicht weichen Mörtels von mindestens gleicher Mischung wie der Mörtel des Betons.

Beim Stampfen sind quadratische oder rechteckige Stampfer von 10 bis 16 cm Seitenlänge und 10 bis 17 kg Gewicht zu verwenden.

Die Größe der aufzuwendenden Stampfarbeit wird bedingt durch die zu erzielende Festigkeit und durch die Art der Betonmasse (erdfeucht oder weich)[2]).

Besondere Sorgfalt ist auf das Stampfen der Ecken und Außenseiten (längs der Verschalung) zu verwenden.

Die einzelnen Stampfflächen sollen sich etwas überdecken.

Bei steinreichem, erdfeuchtem Stampfbeton empfiehlt es sich, zwischen den Stampfgängen die Oberfläche abzukehren und den losgetrennten Mörtel in die Hohlräume zu verteilen.

Die Betonmasse muß unter allen Umständen vor Beginn des Abbindens verarbeitet werden. Sie darf selbst in Ausnahmefällen bei warmer und trockener Witterung nicht länger als eine Stunde, bei kühler bzw. nasser Witterung nicht länger als zwei Stunden unverarbeitet liegen bleiben.

Nicht sogleich verarbeitete Betonmasse muß vor Witterungseinflüssen, wie Sonne, Wind, starkem Regen usw. geschützt, außerdem vor dem Einbringen in die Verwendungsstelle nochmals umgeschaufelt werden.

---

[1]) Das Stampfen in der Druckrichtung sichert eine gleichmäßige Zusammenpressung der Betonmasse im ganzen Querschnitt und ist daher in erster Linie anzustreben. Wo dies jedoch praktisch nicht möglich ist, oder wo die Güte der Stampfarbeit bei Einhaltung dieser Stampfrichtung leiden würde (z. B. bei einem flachen Gewölbe), ist auf alle Fälle darauf zu achten, daß die auftretenden Kräfte nicht verschiebend auf die einzelnen Schichten wirken können.

[2]) Erdfeuchte Betonmasse erfordert höheren Aufwand an Stampfarbeit und größere Sorgfalt als weiche Betonmasse; dafür liefert sie aber bei gleichem Zementzusatz im allgemeinen eine höhere Festigkeit als die weiche Masse. Bei erdfeuchter Betonmasse ist die Grenze des Stampfens in der Regel erreicht, wenn ein Zusammenpressen nicht mehr stattfindet oder die Masse plastisch wird oder Wasser ausscheidet.

Nicht immer kann der Austritt von Wasser herbeigeführt werden, da die besonderen Eigenschaften der Baustoffe hierbei mitsprechen.

Bei weicher Betonmasse kann zu langes Stampfen Entmischen herbeiführen, also schädlich wirken.

Bei bereits in die Verwendungsstelle eingebrachter Betonmasse muß die Verarbeitung unter allen Umständen ohne Unterbrechung bis zur Beendigung des Stampfens durchgeführt werden.

Die Schalungen müssen so stark sein, auch so fest verbunden und unterstützt werden, daß eine genaue Herstellung der Betonkörper in den beabsichtigten Formen gewährleistet ist und schädliche Erschütterungen während des Stampfens oder Formänderungen der gestampften Teile nicht entstehen können[1]).

Während des Baues muß in allen Bauteilen stets eine mindestens fünffache Sicherheit gegenüber den jeweils wirkenden Kräften vorhanden sein.

Die Fristen, welche zwischen der Beendigung des Stampfens und dem Ausrüsten (d. i. vorsichtige Entfernung von Stützung und Schalung) liegen müssen, sind von der Art, Größe und Beanspruchung des Betonkörpers und von der Witterung abhängig. Es darf erst ausgerüstet werden, wenn im Bauwerk für die jeweilige Belastung genügende Sicherheit vorhanden ist.

Tritt während der Erhärtungsdauer Frost ein, so sind die Ausrüstungsfristen mindestens noch um die Dauer des Frostes zu verlängern.

Baukörper aus Stampfbeton müssen nach Beendigung des Stampfens in geeigneter Weise gegen Beschädigungen, sowie gegen Einwirkungen geschützt werden, welche auf die Erlangung der erforderlichen Festigkeit von nachteiligem Einfluß sein können.

Damit dem Beton das zur Erhärtung nötige Wasser nicht vorzeitig entzogen wird, müssen Sonnenschein und Wind in den ersten Tagen möglichst abgehalten werden (Belassen in der Schalung, Bedecken mit einer Sandschicht, mit Säcken, Brettern u. dgl.); zeitweises Annässen ist erforderlich.

Frischer Beton ist gegen Einwirkung von Frost zu schützen[2]).

Die Feststellung der geforderten Festigkeit während des Baues erfolgt durch Druckversuche mit Probekörpern. Maßgebend für die Anfertigung und Prüfung der Probekörper sind die „Bestimmungen für Druckversuche bei der Ausführung von Bauten aus Stampfbeton“ vom Jahre 1908 (vergleiche diese).

Die Prüfung nach Beendigung der Ausführung muß vornehmlich umfassen:

1. die Feststellung ausreichender Erhärtung der Bauteile vor ihrer Ausrüstung;
2. die Feststellung, ob sämtliche Bauteile nach der Ausrüstung unversehrt sind;
3. die Feststellung, daß die erforderlichen Stärken vorhanden sind;
4. unter Umständen die Feststellung der Tragfähigkeit durch Vornahme von Belastungsproben.

---

[1]) Damit größere Brückengewölbe während des Baues infolge des unvermeidlichen Setzens und Einbiegens der Gerüste keinen Schaden erleiden, ist entweder der Betonkörper in mehreren durch ausreichend breite Zwischenräume getrennten, senkrecht zur Druckrichtung liegenden Teilen herzustellen, die zuletzt durch Ausfüllen der Zwischenräume mit Beton zu dem planmäßigen, einheitlichen Körper vereinigt werden, oder es müssen die Gerüste vor der Aufbringung des Betons eine Belastung erhalten, die nach Verteilung und Größe ungefähr mit der des fertigen Betonkörpers übereinstimmt und entsprechend dem Fortschreiten der Arbeit nach und nach beseitigt wird. Unter Umständen kann auch die Verbindung beider Maßregeln nützlich sein.

[2]) Annässen von ungeschütztem, frischem Beton, welcher durch die Sonne stark erwärmt ist, wirkt schädlich.

Durch das Bedecken des Betons bei Frost wird die beim Abbinden entstehende Eigenwärme zusammengehalten.

Hinsichtlich der Art und des Umfanges solcher Probebelastungen wird auf das bei Bauten sonst Übliche verwiesen[1]).

Belastungsproben sind stets vorzunehmen, wenn begründeter Verdacht vorliegt, daß Bauteile nicht einwandfrei hergestellt oder daß sie durch Einflüsse irgendwelcher Art in ihrer Tragfähigkeit beeinträchtigt sind.

Die Belastungsproben dürfen erst stattfinden, wenn ausreichende Erhärtung des Betons vorausgesetzt werden kann.

β) Auszug aus den Bestimmungen für Druckversuche bei der Ausführung von Bauten aus Stampfbeton.

Aufgestellt vom Deutschen Ausschuß für Eisenbeton 1908.

Die Probekörper müssen mit Baustoffen gleicher Art, gleicher Aufbereitung, gleichen Feuchtigkeitsgehalts hergestellt werden, wie es für den Beton des Bauwerks oder Bauteils in Aussicht genommen ist oder zur Ausführung kommt.

Die zur Kontrolle der Bauausführung bestimmten Probekörper sind demnach in der Regel aus der zum Einbringen in die Verwendungsstelle am Bau fertigen Betonmasse herzustellen, und zwar an einem vor Regen, Zugluft, Kälte und strahlender Wärme geschützten Orte.

Für jede Versuchsreihe sind in der Regel drei Körper in unmittelbarer Arbeitsfolge zu erzeugen.

Zur Herstellung der Probekörper sind eiserne Würfelformen von 300 mm Seitenlänge zu verwenden.

Zum Stampfen sind quadratische Normalstampfer von 12 cm Seitenlänge und 12 kg Gewicht zu benutzen.

Zur Führung des Stampfers an den Wandungen der Form, sowie zum Halten der überstehenden Betonmasse dient ein eiserner, 30 cm hoher Rahmen, welcher auf die Form mit deren Innenflächen bündig aufgesetzt wird.

Die Anfertigung der Würfel muß an einem von der Lagerstelle der bereits fertigen Würfel entfernten Platz erfolgen, damit die Erschütterungen auf die frisch gestampften Würfel nicht einwirken können; die Würfelform ist auf eine etwa 3 cm hohe Sandunterlage zu stellen.

Die Betonmasse ist in zwei Schichten von gleicher Höhe einzulegen.

Bei grober und steinreicher Betonmasse empfiehlt es sich, um am Würfelkörper dichte Kanten und Ecken zu erzielen, vor dem Einlegen der Betonmasse an den Kanten der Form am Boden etwas Mörtel vorzulegen, welcher der Betonmasse zu entnehmen ist.

Jede Schicht ist zunächst zu ebnen. An den Wandungen der Form muß mit einem passenden Gerät (Kelle) hinuntergestochen werden, um an den Wandungen etwa festanliegende Steine herabzudrücken und die Bildung von Nestern oder Hohlräumen zu verhindern.

Jede Schicht ist mit möglichst der gleichen Stampfarbeit herzustellen, wie sie beim Bau angewandt wird oder zur Anwendung gelangen soll.

---

[1]) Im allgemeinen genügt es, die bei den Probebelastungen aufzubringende Auflast etwas höher als die Nutzlast — etwa um das Maß, das dem Einfluß der Erschütterungen durch die bewegte Verkehrslast entspricht — anzunehmen. Es empfiehlt sich, die Tragfähigkeit des Bauwerkes weniger durch übergroß gesteigerte Auflast, bei der einzelne Bauteile leicht Schaden nehmen können, als durch Beobachtung der Formänderungen und deren Vergleich mit den rechnungsmäßigen zu prüfen.

Wie beim Bauwerk darauf zu achten ist, daß das Stampfen der einzelnen Schichten am besten reihenweise erfolgt, so wird auch bei Herstellung der Probekörper zweckmäßig nach Abb. 14 verfahren.

Vor dem Einbringen der zweiten Schicht muß, um eine gute Verbindung der Schichten zu erzielen, die Oberfläche der ersten Schicht aufgerauht werden; schließlich ist die Oberfläche mittelst stählernen Lineals abzuziehen und zu ebnen.

Jeder Probekörper ist mit der Bezeichnung des Anfertigungstages und einer Erkennungsmarke zu versehen.

Die Probekörper sollen mindestens 24 Stunden in der Form verbleiben. Alsdann sollen nach Entfernung der vier Seitenwände der Form die fertigen Betonkörper entweder erst noch weitere 24 Stunden auf der Formplatte ruhen oder, bei genügender Erhärtung, gleich auf derselben nach einem geschlossenen frostfreien Lagerraum verbracht und hier auf eine mindestens 10 cm starke feuchte, erd- und lehmfreie Sandschicht mit 10 cm Abstand voneinander vorsichtig aufgelegt werden. Die Zwischenräume zwischen den abgelagerten Körpern sind mit ebensolchem Sande auszufüllen; über die Körper ist eine gleiche Deckschicht zu breiten. Der Sand muß während der Lagerungsdauer feucht erhalten werden.

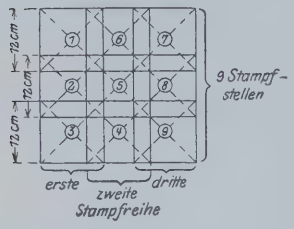

Abb. 14.

Bei Platzmangel können auf derart abgelagerte Reihen Betonkörper bis zu vier weiteren Schichten aufgesetzt werden.

In diesem Lager sollen die Probekörper bis zur Druckprüfung verbleiben. Beim Versand müssen sie in feuchtes Sägemehl verpackt werden.

Sofern von einer Lagerung der Probekörper unter feuchtem Sand — wie vorstehend beschrieben — Abstand genommen wird, müssen Lagerung und Behandlung der Probekörper möglichst den Bedingungen entsprechen, denen der Beton am Bau unterworfen ist.

In die Niederschrift über die Anfertigung und Prüfung der Probekörper sind Angaben über Temperatur, Witterung und die Art der Lagerung einzutragen.

Die Prüfungen sind in der Regel 28 Tage nach der Herstellung der Probekörper auszuführen. Unter Umständen kann es zweckmäßig sein, eine Prüfung bereits 7 Tage nach der Herstellung der Probekörper vorzunehmen; die Prüfung nach 28 Tagen muß auch in diesen Fällen erfolgen. Für etwaige weitere Proben sind Fristen von 90 Tagen, 1, 2 und 5 Jahren üblich.

Vor der Prüfung sind das Gewicht und die Abmessungen der Körper festzustellen.

Die Druckfestigkeiten sind auf Maschinen zu ermitteln, die zuverlässig auf ihre Richtigkeit geprüft werden können. Erfolgt die Messung des Druckes durch Federmanometer, so sind zwei Manometer oder ein Doppelmanometer anzuordnen.

Der Druck kann in der Stampfrichtung oder senkrecht zur Stampfrichtung ausgeübt werden. Vor der Prüfung ist festzustellen, ob die Druckflächen eben und parallel sind. Unebene und nicht parallele Flächen sind mit Zement oder Zementmörtel dünn abzugleichen: die aufgebrachte Abgleichschicht soll bei der Prüfung annähernd die Festigkeit des Betonkörpers haben.

Die Drucksteigerung hat langsam und stetig zu erfolgen, ungefähr derart, daß in der Sekunde die Belastung um 1 kg/qcm wächst. Der Höchststand des Manometers bestimmt die erreichte Druckfestigkeit.

Maßgebend ist der Mittelwert aus den Festigkeitszahlen einer Versuchsreihe (in der Regel drei Probekörper).

Neben den Druckversuchen auf der Baustelle können auch vergleichende, gleichartige Untersuchungen im Laboratorium durchgeführt werden, worüber ebenfalls Normen im Deutschen Ausschuß für Eisenbeton aufgestellt sind, die bezüglich der Anfertigung der Proben usw. den vorstehend mitgeteilten Bestimmungen sich anpassen. Als Maschine zur Anfertigung der Proben wird die Maschine Bauart Hüser sowie die Schmidtsche Betonstampfmaschine empfohlen.

Eine zentrale Herstellung von Beton in fabrikmäßigem Großbetriebe erfährt der von Reg.-Baumeisters Magens in Hamburg eingeführte Transportbeton, welcher sich dort bestens bewährt hat. Da infolge künstlicher Abkühlung der Rohmaterialien in heißer Zeit und des Durchrüttelns während der Fahrt in eisernen Kastenwagen von der Fabrik aus zur Baustelle das Abbinden des Betons verhindert wird, und dieser somit eine Zeit von mehreren Stunden, ohne hierbei zu leiden, vor seinem Einstampfen transportiert werden kann, ist dieser Art Beton der Name Transportbeton gegeben worden. Wie Versuche — namentlich in Hamburg — gezeigt haben, geht bei ihm gegenüber einem unmittelbar auf der Baustelle erzeugten, gleichartigen Beton die Festigkeit nicht zurück. Das, namentlich in Großstädten mit ihren, im Raum oft beschränkten Baustellen wirtschaftliche Verfahren ist bisher fast nur in Hamburg — wenn auch hier in großem Maßstabe — durchgeführt worden.

Über die Verwendung von Zementbeton zur Herstellung von Kunststeinen vgl. die S. 162—175 in Teil II. 1. Kapitel IV, § 15—17.

Von besonderen **maschinellen Vorrichtungen zur Erzeugung und Mischung von Zementmörtel** und namentlich **Beton** kommen neben den bereits auf S. 77 u. 120 er-

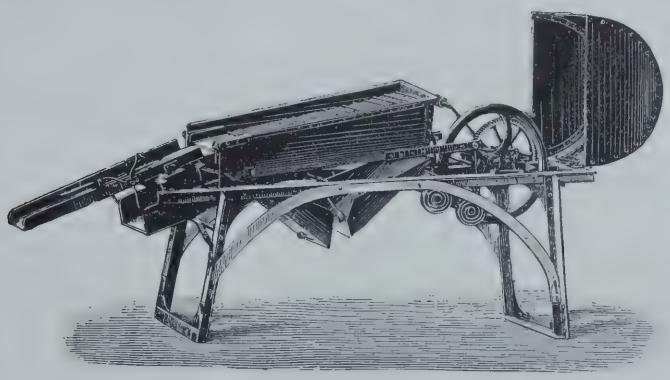

Abb. 15.

Rüttelsieb-Kies-Sortiermaschine. System Bünger.

wähnten Steinbrechern im besonderen Sand- und Kies-, Sieb- und Waschmaschinen, dann Mischmaschinen in Frage; auf sie soll nachfolgend kurz eingegangen werden.

Die Sand- bzw. Kies-, Sieb- und Sortiermaschinen sind entweder durch die Drehung eines Exzenters hin und her bewegte Rüttelsiebe — Abb. 15[1]) — oder sich drehende Sortiertrommeln — Abb. 16[1]). In letzterem Falle sind die Siebbleche in Kegelform angeordnet, sich um eine wagerechte oder wenig schräg liegende Achse drehend.

[1]) Ausführungen der Baumaschinenfabrik Bünger A. G. Düsseldorf.

In Fällen, in denen die zu siebenden Stoffe von anhängendem Ton u. dgl. befreit werden sollen, kann gleichzeitig mit dem Sortieren durch Einspritzen von Wasser unter Druck auch ein Waschen vorgenommen werden.

Das Waschen von Schotter, Kies und Sand im allgemeinen kann in einfachster Weise mit Hilfe von Transportwagen, Karren u. dgl. erfolgen, deren Boden, unter Umständen auch Seitenwände durchlocht sind. Unter Verwendung eines kräftigen Wasserstrahles werden hier die Kies- usw.-Massen ausreichend durchspült.

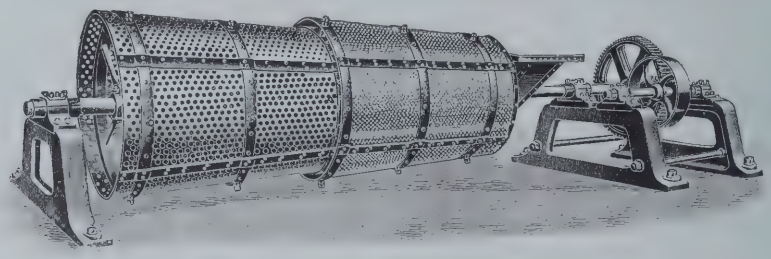

Abb. 16.
Sortiermaschine für Schotter, Kies und Sand. System Bünger.

Die demselben Zwecke dienenden Waschmaschinen benutzen i. d. R. geneigte Trommeln, in welche unreiner Sand und Kies auf der einen Seite eingebracht werden, um unter reichlicher Durchspülung mit Wasser auf der anderen Seite in gereinigtem Zustande wieder auszutreten. Die meisten der hierher gehörenden Anordnungen beruhen auf dem Grundsatze des Gegenstromes, d. h. Sand und Spülwasser gehen in entgegengesetzter Richtung durch die Maschine hindurch. Hierbei kann der Sand, von unten in die Maschine eintretend, durch eine Transportschnecke nach dem oberen Ende zu bewegt werden, während das Spülwasser von oben her zufließt, oder der Sand, — weniger gut — wird oben eingebracht und das Wasser unten zugeleitet; alsdann findet die Durchmischung mit Hilfe von Armen statt, die im Innern der sich drehenden Trommel an diese angeschlossen sind. In beiden Fällen kommt der reine Kies oder Sand am Ende seines Durchganges mit dem reinsten Wasser in Berührung. Um das Rohmaterial mit genügender Kraft durchspülen zu können, ist ein Betriebsdruck von $1^1/_2$–2 Atm. erwünscht.

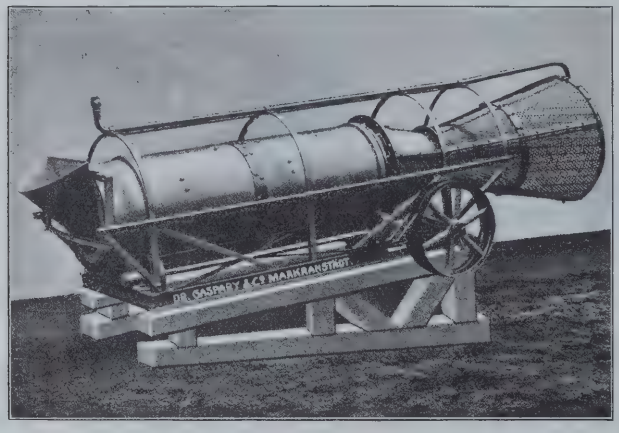

Abb. 17.
Kieswasch- und Sortiermaschine mit Gegenstromprinzip. System Gaspary.

Während sich für unreinen Kies und Schotter derartige Maschinen in der Praxis als ausreichend erwiesen haben, empfiehlt es sich, beim Reinigen kiesiger Sande an die normale Reinigungsmaschine noch einen Trog mit sich ständig erneuerndem Wasser anzuschließen. Oft ist zudem an die Waschmaschine eine Sortiervorrichtung angefügt. Maschinen dieser Art, ohne und mit Trog, zeigen die Abbildungen 17 und 18 (Bauart Gaspary-Leipzig).

Während die Waschmaschine in Abb. 17 in der Hauptsache aus einem wasserdicht genieteten, konischen, durch Kegelräderantrieb gedrehten Zylinder besteht, in den eine

mit Durchbrechungen versehene Transportschnecke eingebaut, und an dessen oberem Ende eine Sortiertrommel angeschlossen ist, wird in Abb. 18 an die Waschtrommel ein Trog mit ständig zulaufendem Wasser angefügt, der den unteren Teil der, an die Waschmaschine unmittelbar, angeschlossenen konischen Sortiertrommel umgibt. Hier siebt sich der feine Sand aus dem durch den Gegenstrom gewaschenen Material aus und gelangt in das Wasser des Troges. Außen an der Sortiertommel angenietete Aufrührer und Mit-

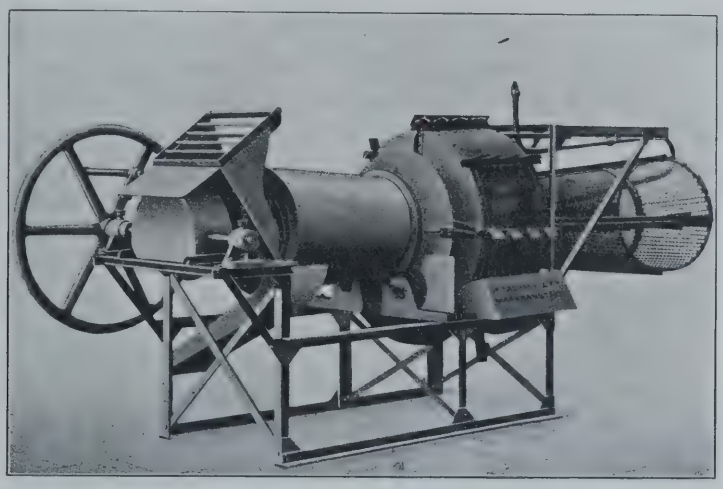

Abb. 18.

Sand- und Kieswasch- und Sortiermaschine mit Gegenstromprinzip und Waschtrog. System Gaspary.

nehmer bewegen das Material kräftig hin und her und heben einen Teil desselben von Zeit zu Zeit heraus. Die Mitnehmer sind gelocht, damit nicht unnötig viel Wasser zugleich mit dem Sande aus dem Troge entnommen wird. Das gröbere kiesige Material gelangt in den Sortierkegel und wird hier durch verschiedene Lochungen der Wandung in zwei Korngrößen getrennt, während die gröbsten Teile vorn vor der Maschine heraus-

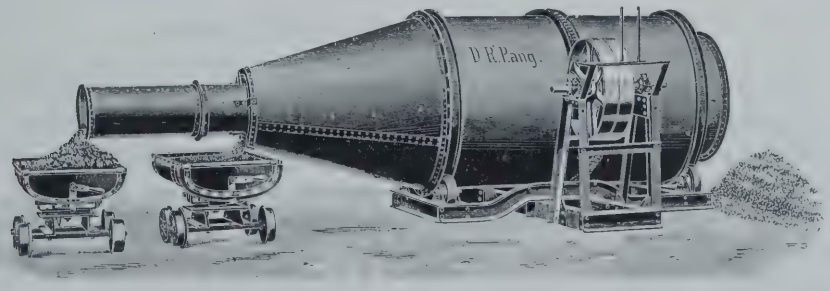

Abb. 19.

Münchner Kies-, Wasch- und Sortiermaschine. System Ratzinger und Weidenkaff.

fallen. Für eine Tagesleistung von 25 cbm ist eine Antriebskraft von 2 PS. notwendig; zur Bedienung reicht 1 Mann aus.

Die gleichen Aufgaben erfüllt auch die in Abb. 19 dargestellte Münchener Kies-, Wasch- und Sortiermaschine der Firma Ratzinger & Weidenkaff, München; auch hier wird der im Rohmaterial enthaltene, feinste Sand ganz rein gewaschen und selbsttätig abgesiebt. Die Materialaufgabe erfolgt von ebener Erde aus durch einfaches Umschütten von Kippkarren, während die Ausläufe von Kies und Sand so hoch liegen, daß Karren

oder Kippwagen gut untergeschoben werden können. Die Maschinen werden bis zu 15 cbm für 1 Tag mit Handbetrieb, von 20—100 cbm tägliche Leistung mit Maschinenantrieb gebaut; es erfordert eine Tagesleistung von 20—30, bzw. 40—60, bzw. bis 100 cbm 2—3, bzw. 4—5, bzw. 6—8 Pferdestärken.

Ein besonderes System stellt die Bauart Excelsior der gleichnamigen Maschinenbauanstalt in Stuttgart dar. Hier erfolgt das Waschen der Materialien nicht durch Überleitung von Wasser, sondern durch Waschung unter Wasser in einem Becken von der Ausgestaltung eines liegenden halben Prismas. Die hierbei auftretende Gefahr, daß der vom gewaschenen Material an das Wasser abgegebene Schmutz sich wieder auf den Kies und Sand niederschlagen könnte, ist dadurch beseitigt, daß sich das Wasser dem Material entgegen bewegt, der schon gewaschene Kies also nur mit reinem Wasser in Berührung kommt. Diese Bewegung wird durch die Form des hohlen Waschzylinders bedingt, dessen Mantel innen und außen schneckenförmig gestaltet ist. Abb. 20 gibt eine Ansicht einer solchen Maschine und zwar einer fahrbaren Anordnung mit elektrischem Antriebe und 20 cbm Tagesleistung. Im allgemeinen werden z. Z. 3 Typen

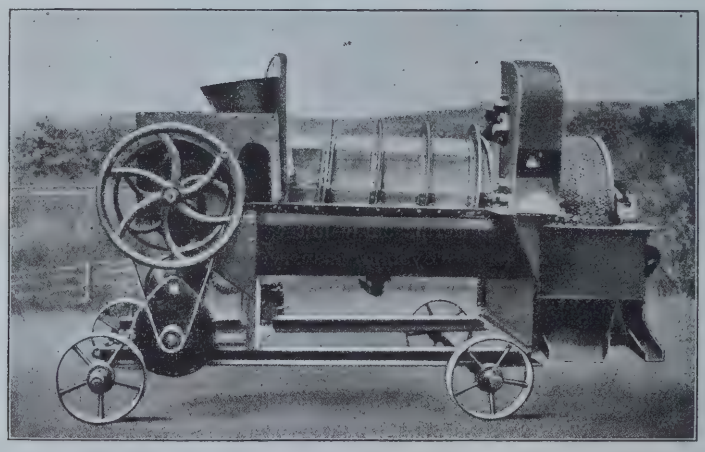

Abb. 20.
Fahrbare Excelsior-Maschine mit elektr. Antriebe.

gebaut: A für wasserklares Waschen von Kies bis 80 mm und Sand bis 8 mm, zugleich Sortierung bis zu 4 Korngrößen, B für nicht wasserklares Waschen, für Sortierung bis auf 0,4 mm herab, C für wasserklares Waschen von Materialien bis zu 8 mm Korngröße.

Bei den Mörtel- und Betonmischmaschinen sind 2 Hauptarten danach zu unterscheiden, ob die Maschinen unterbrochen, d. h. satzweise oder ununterbrochen arbeiten.

I. Zu der ersten Gruppe den satzweise arbeitenden Maschinen gehören:

a) Freifallmischer. In ihnen mischen sich die Materialien durch freien Fall, indem sie in dem geneigt oder senkrecht stehenden, trommelartigen Fallschacht auf schräge Flächen auffallen, von hier wieder abgleiten, von neuem auffallen usw. Es liegt auf der Hand, daß man auf eine gute Mischung nur bei langen Wegen, also hohen Fallmischern rechnen kann; aber auch hier ist das Ergebnis nicht sicher. Deshalb sind die einfachen Freifallmischer auch weniger beliebt und eingeführt, manchmal sogar behördlich abgelehnt. Eine Verbesserung erfahren sie durch Einschaltung einzelner, in gewissen Abständen und in verschiedener Richtung sich drehender Schaufelräder in den

Mischer, die das Mischgut durchrühren und es dann wieder fallen lassen, sodaß Rühr- und Fallwirkung sich addieren (System W. Daum-Miltenberg). Auch kann — Anordnung Gaspary-Leipzig — der Freifallmischer mit einer sich drehenden Mischtrommel vereinigt werden und zwar in der Art, daß in die schräg oder senkrecht stehende Trommel einzelne, mit in verschiedener Richtung stehenden Schlitzen versehene, Böden eingebaut werden. Nach einer 3/4-Drehung fällt das Mischgut durch den kurvenartig geführten Schlitz auf die nächste Plattform, von der es dann nach einer weiteren Drehung der Trommel wieder abgleitet usf. Es ist das Mischgut somit gezwungen, auf einem längeren Wege in Bandform durch die Trommel hindurchzufallen, wodurch die Mischung recht gut beeinflußt wird.

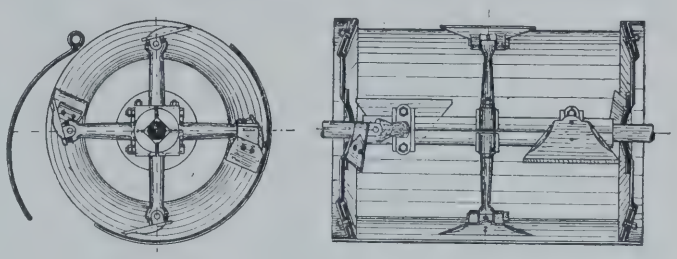

Abb. 21 a. Abb. 21 b.

Mischtrog. System Kunz.

b) Wagerecht liegende Mischtröge, meist in Form von oben offenen und somit eine Kontrolle der Arbeit gut gestattenden Halbzylindern. In diesen Behältern bewegen sich an einer Drehachse angeschlossene Arme, welche den Beton durcharbeiten. Ein geringer Nachteil ist die bei zunächst trockener Mischung eintretende Staubentwickelung. Die Entleerung der Maschinen erfolgt entweder durch Öffnung einer Boden- oder Seitenklappe oder durch Kippen des Mischbehälters um seine wagerechte Achse. — Als Beispiele der sehr verbreiteten und in der Praxis bestens eingeführten und bewährten Bauart seien erwähnt:

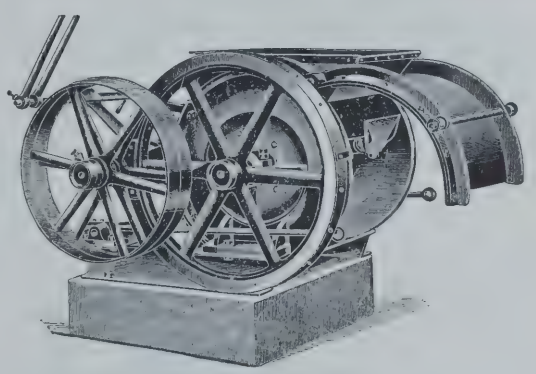

Abb. 22.

Mischtrog. System Kunz.

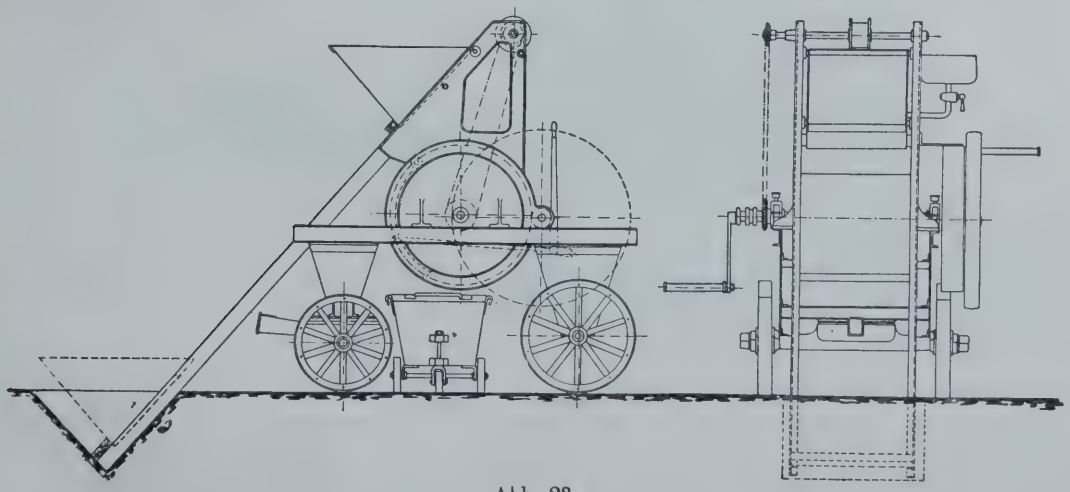

Abb. 23.

Fahrbare Betonmischmaschine mit Materialaufzug. System Kunz.

System Kunz & Co., Kempten (Abb. 21—25). Neben einfach wirkenden, mit nur einer Welle ausgeführten Maschinen (Abb. 21—23) werden auch doppelt wirkende, mit zwei Wellen gebaut (Abb. 24 und 25). Einfache Maschinen sind für Leistungen bis zn 6 cbm/Std. zu bevorzugen; sie verarbeiten feinstes wie gröbstes Material in gleich

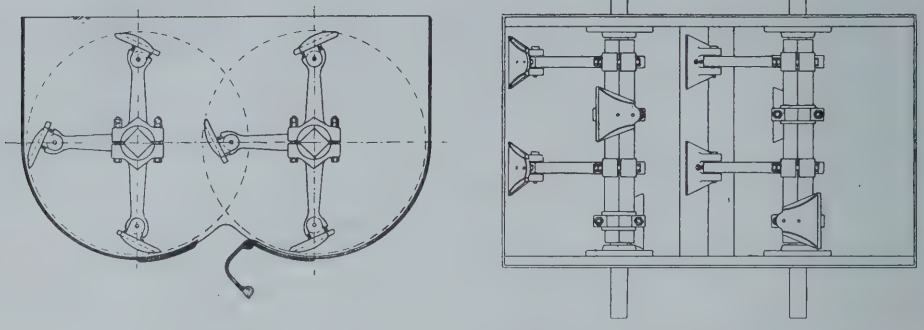

Abb. 24 a. Abb. 24 b.

Mischtrommel der doppeltwirkenden Mischmaschine. System Kunz.

guter Weise und sind namentlich für den Eisenbetonbau geschätzt. Die Maschinen werden feststehend (Abb. 22) und fahrbar (Abb. 23) gebaut, in letzterem Fall vielfach mit einem Betonhebewerk verbunden, um die Rohmaterialien unmittelbar von Geländehöhe vermittelst eines Mischgefäßes zu heben und in die Trommel zu entleeren.

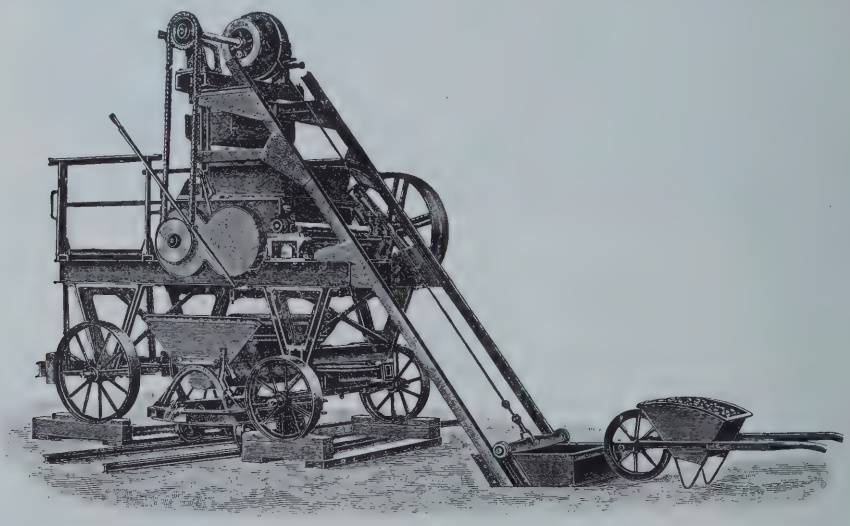

Abb. 25.

Fahrbare, doppeltwirkende Betonmischmaschine mit Materialaufzug auf erhöhtem Wagen. System Kunz.

Die doppelten Maschinen, bei denen die Mischdauer i. d. R. $^1/_2$ Minute nicht zu übersteigen braucht, liefern ein vorzügliches Mischgut; jede Mischwelle ist mit 4 bis 5 Mischarmen versehen. Wie bei den einfachen Anordnungen findet die Entleerung durch eine Bodenklappe statt; überhaupt ist die Bauart im allgemeinen der mit nur einer Mischachse entsprechend. — An die Motoren der Antriebmaschinen lassen sich gegebenenfalls noch andere Baumaschinen anschließen.

System Gauhe, Gockel & Co. in Oberlahnstein a. Rh. Im Hinblick darauf, daß eine Bodenklappe undicht werden kann, findet hier die Entleerung durch Drehung des deshalb lose auf der Rührwelle sitzenden Mischtroges statt (Abb. 26). Die hier dargestellte Bauart ist eine Kipptrogmischmaschine mit Vorfüllkasten, feststehend, für Riemenbetrieb und mit Vorgelege zum Drehen des Troges und Kurbelwerk zum Entleeren des Vorfüllkastens versehen.

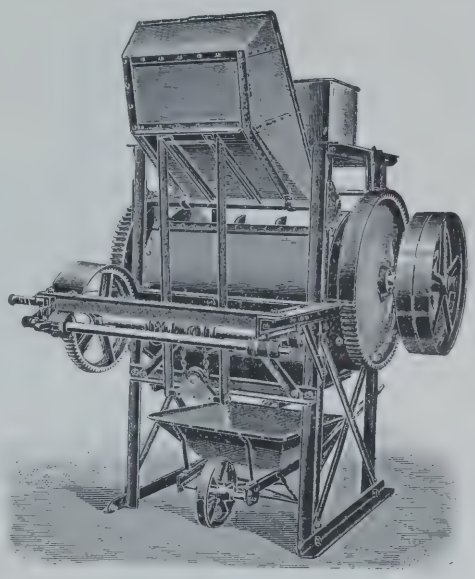

Abb 26.
Feststehender Mischtrog. System Gauhe-Gockel & Co.

System Gaspary-Markranstädt bei Leipzig (Abb. 27). Der oben offene Trog ist feststehend; er ist von unten aufklappbar und entleert seinen Inhalt in untergefahrene Karren. Die innige Mischung erfolgt in kürzester Zeit durch rotierende Mischarme mit beweglichen Mischschaufeln. Leistung in der Stunde 6 bis 17 cbm.

c) Senkrecht stehende, oben offene Mischbehälter mit an senkrechten Wellen angeschlossenen Rührarmen.

Als Beispiele seien erwähnt:

System Hüser, gebaut von F. Beyer & Zetsche in Plauen i. V., ausgezeichnet durch große Leistung bei verhältnismäßig geringem Kraftbedarf und geringer Abnutzung (Abb. 28a u. b). Die nach Art der Pendelmühle gebaute Maschine zeigt ein zwischen zwei kräftigen Ständern angeordnetes Mischgefäß besonderer Form, das unten durch eine drehbare Halbkugel abgeschlossen ist; in diesem laufen zwei um ihre Achse sich drehende Quirle, welche das Mischgut in allen seinen Teilen einer innigen Durchknetung unterwerfen. Hierbei führen federnde, die Kessel- und Halbkugelwandung abstreifende Messer das Mischgut stets wieder in den Bereich der Quirle. Da letztere frei schwebend aufgehängt sind, vermögen sie größeren Steinstücken gut auszuweichen; außerdem heben sie sich durch die Zentrifugalkraft bei der Drehung, sodaß eine Abnutzung der Kesselwandung in geringem Maße eintritt. Nach einigen Umdrehungen mit trockener Mischung wird von allen Seiten gleichzeitig das erforderliche Wasserquantum zugeleitet. Das fertige Mörtelmaterial fällt bei Drehung der abschließenden Halbkugel durch eine sich alsdann bildende Öffnung in den unter die Mischtrommel gefahrenen Transportwagen. Naturgemäß kann die Maschine auch mit einem, unter den Fußboden herabreichenden Einschüttgefäß und maschineller Hebung

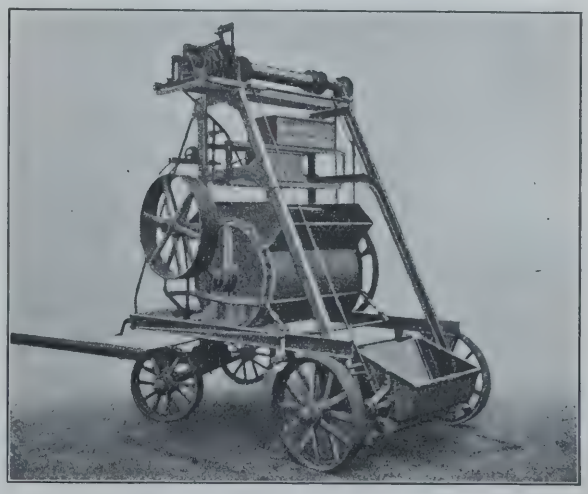

Abb. 27.
Fahrbarer Mischtrog. System Gaspary.

dieses zwecks Einfüllung des Betons in den Mischtrog gebaut werden. Der Kraftbedarf beträgt entsprechend der Tagesleistung von 8 bis 45 cbm 3 bis 10 PS. Diese Mischmaschine ist besonders in der Kunststeinfabrikation eingeführt und bewährt.

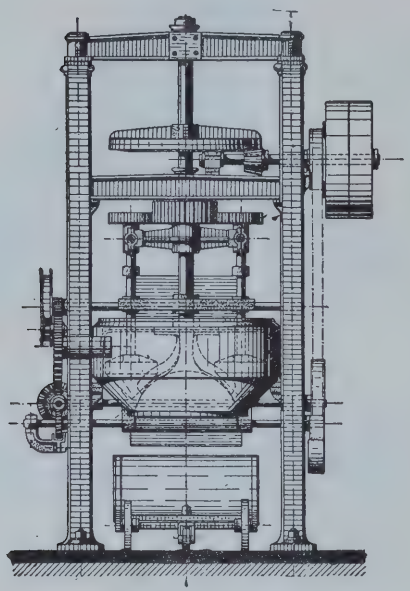

Abb. 28 a.

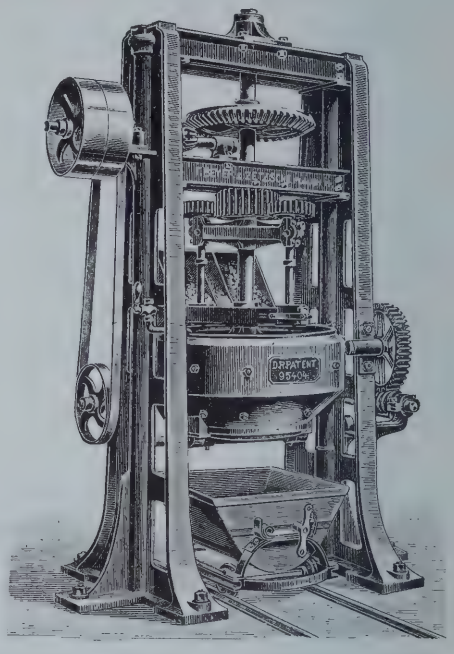

Abb. 28 b.

Feststehender Trogmischer mit senkrechter Achse. System Hüser.

System Eirich (gebaut von der Georgs-Marienhütte, Osnabrück). Die Arbeit der Maschine besteht in einer gleichzeitigen innigen Mischung und Knetung. Die Misch- und Knetwerkzeuge bewegen sich in offenem Gefäß auf ebenem Tellerboden in sich stets überschneidenden zykloidischen Bahnen; wie aus Abb. 29 ersichtlich ist, welche diese Bahnen im Grundrisse darstellt, zwingen die Misch- und Knetwerkzeuge auch das

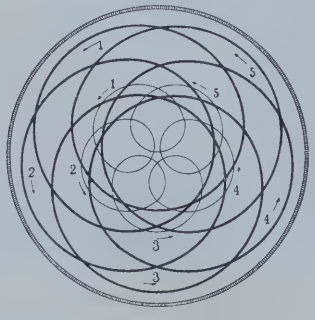

Abb. 29.

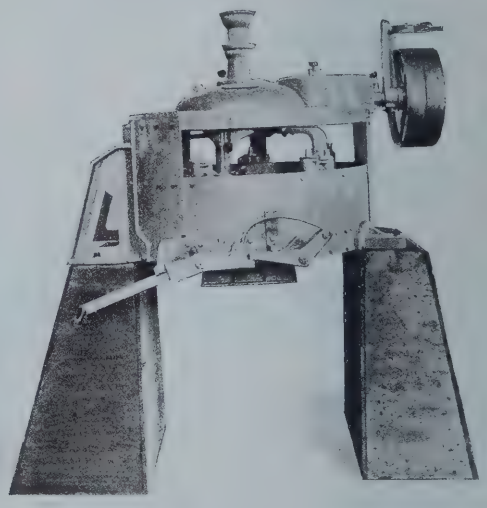

Abb. 30 a.

Feststehender Trogmischer. System Eirich.

kleinste Teilchen, durch die ganze Masse hindurchzudringen, erfassen das Mischgut stets wechselnd von allen Seiten und bewirken ein planmäßiges, zwangsweises Verschieben der ganzen Masse in allen Richtungen. Die Bewegung der zum Kneten dienenden

Läufer und der die Mischarbeit ausführenden Schaufeln erfolgt durch ein Planetengetriebe; hierbei können sich die Schaufeln leicht drehen und heben, also größere Steinstücke hindurchlassen, wodurch die Maschine leicht und schnell arbeitet und zudem

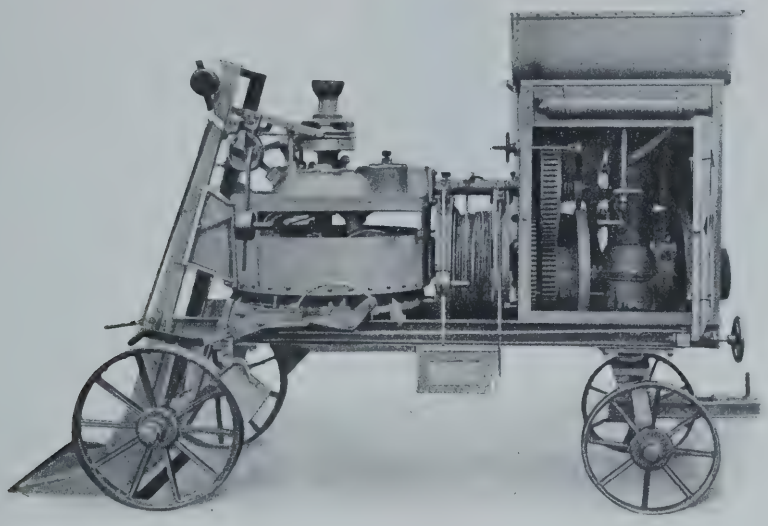

Abb. 30 b.
Fahrbarer Trogmischer. System Eirich.

namentlich am Teller geringe Abnützung aufweist. Der in der Mitte liegende, in beliebiger Höhe einstellbare Knetkoller hat die Aufgabe, die gröberen Teile in die feineren und weicheren des Mischguts hineinzudrücken und sie so zu zwingen, sich mit dem Bindemittel zu umhüllen; zu gleicher Zeit werden Sand- oder Bindemittelknollen vollständig zerrieben, das Steinmaterial aber nicht zerdrückt.

Eine feststehende Eirichsche Mischmaschine stellt Abb. 30 a, eine fahrbare, mit angeschlossener Bauwinde Abb. 30 b (Tagesleistung 50 cbm) dar[1]).

d) Mischmaschinen mit umlaufenden Trommeln, bei denen die eigentliche Mischarbeit durch ein beständiges Überstürzen des Mischgutes bei der Drehung der Trommel bewirkt wird. Zur Unterstützung der Mischarbeit sind im Innern der Trommel Leisten, Schaufeln u. dgl. angebracht.

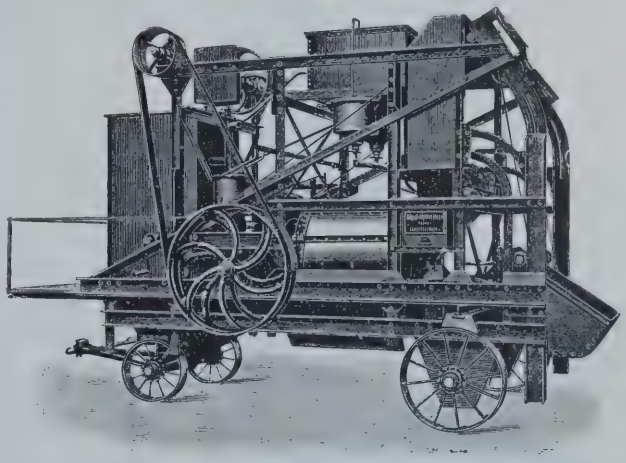

Abb. 31.
Mischmaschine mit umlaufender Trommel.
System Gauhe, Gockel & Co.

Als bekanntere Bauarten seien erwähnt:

System Gauhe, Gockel & Co. in Oberlahnstein a. Rh. (Abb. 31). Das Mischgut wird hier durch die Drehung der Trommel gehoben; es beginnt, sich in den

[1]) Andere hierhergehörende Systeme sind: Joh. Timm-Basel und Charles Watley in Blackpool (England)

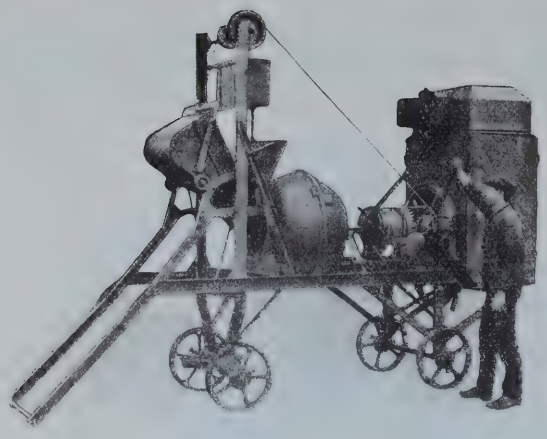

Abb. 32.
Fahrbare Mischmaschine mit umlaufender Trommel. System Leipziger Allg. Baumaschinen-Bedarfs-Gesellsch.

obersten Schichten in kleineren Teilen abzulösen, rollt alsdann über die tieferen Schichten hinweg, reißt Teile derselben mit und fällt nach unten; hierbei wird es durch die im Trommelinnern angebrachten durchlochten und sich mitdrehenden Wandschaufeln aufgehalten und durch deren schräge Stellung genötigt, hin und her zu wandern, d. h. von der Mitte nach außen und umgekehrt; hierdurch wird in sehr kurzer Zeit eine innige Vermischung erzielt bei gleichzeitigem Kneten infolge der Pressung und Verschiebung der Massen durch die Wendeschaufeln.

System der Leipziger Allgem. Baumaschinen-Bedarfs-Gesellschaft (Abb. 32). Hier besteht die Mischtrommel aus zwei Teilen, die zur Entleerung auseinandergezogen werden; durch den so gebildeten

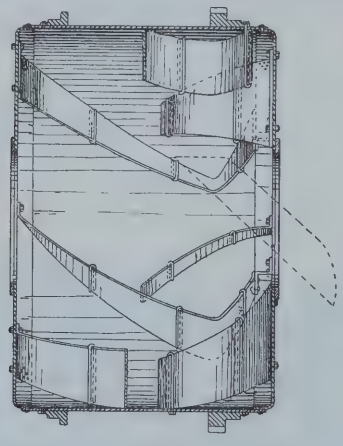

Abb. 33 a.
Ransome-Mischer. Schnitt durch die Trommel, Anordnung der Schaufeln.

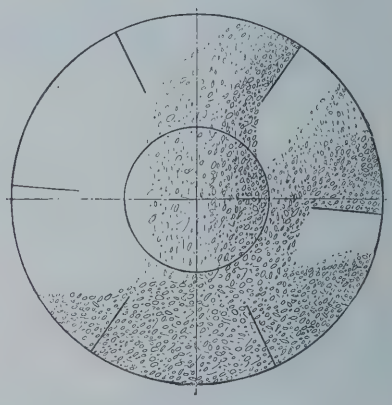

Abb. 33 b.
Verteilung und Fall des Materials während des Mischens.

Schlitz fällt das Mischgut nach unten. Das Rohmaterial wird mit Hilfe einer Aufzugsvorrichtung und eines Vorfüllers seitlich in die Trommel hineingekippt und zuerst trocken, dann naß vermischt. Die Trommel faßt je nach der Größe der Maschine 80—500 l, die Tagesleistung schwankt zwischen 50 und 80 cbm.

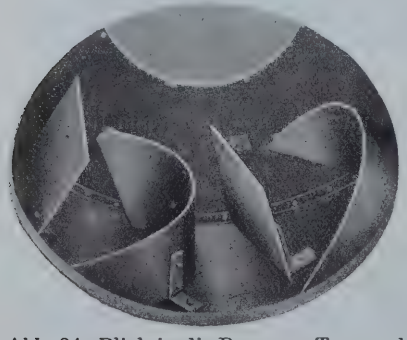

Abb. 34. Blick in die Ransome-Trommel.

System Ransome (Vertretung Ph. Deutsch & Co., Berlin). Das Innere der Trommel enthält sehr sinnreich ausgebildete Misch- und Knetschaufeln. Bei jeder Trommeldrehung wird das Material zweimal hochgehoben, vollständig gemengt und wieder zerteilt mit dem Erfolge, daß schon nach 20 Sekunden ununterbrochener Mischung ein vollkommen innig gemengter Beton entsteht. Die Füllung erfolgt durch

einen Vorfülltrichter, der zugleich als Meßvorrichtung dient und durch eine Klappe gegenüber der Mischtrommel abschließbar ist: hierdurch ist ein Füllen des Trichters während des Ganges der Maschine möglich. Die Entleerung wird durch eine einfache Hebelbewegung

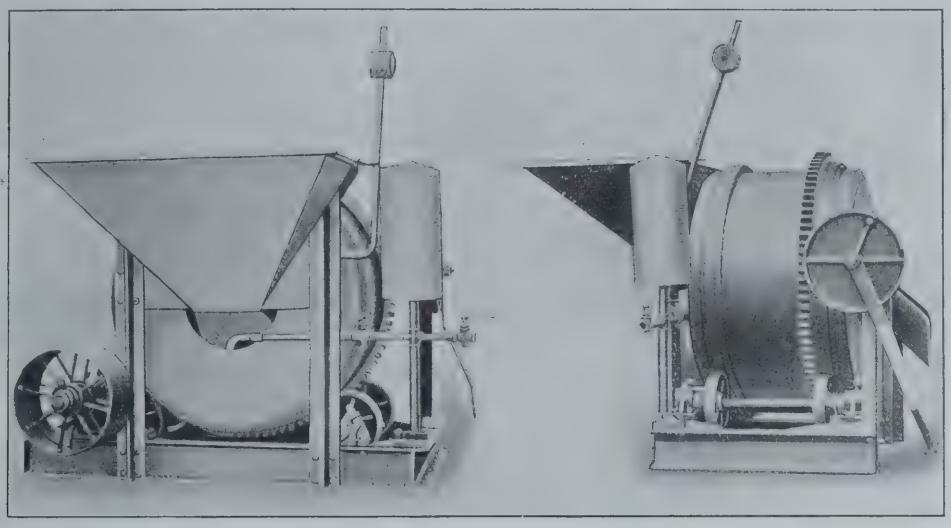

Abb. 35 a Rückansicht Abb. 35 b Seitenansicht

der Ransome-Mischmaschine.

herbeigeführt, welche eine Entleerungsrinne nach außen umlegt. Die gesamte Bedienung der Maschine erfolgt in einfachster Weise von nur einer Seite aus durch einen Mann. Die Trommel ist auf 4 Rollen gelagert und wird durch einen unmittelbaren Zahnradantrieb gedreht. Wegen weiterer Einzelheiten sei auf die Abb. 33 a, b, 34 und 35 verwiesen.

Auf ähnlichem Grundsatze wie die Bauart von Ransome beruht die Mischmaschine von Noskowsky & Yeltsch in Breslau.

System Gaspary in Markranstädt-Leipzig, als Universaltrommelmischer bezeichnet. Bei dieser Bauart (Abb. 36) bewegen sich die Mischtrommel und die Mischarme in entgegengesetzter Richtung, können aber durch eine einfache Umsteuerung auch gleichlaufend gestellt werden. Dies hat den Vorteil, daß für den Fall, daß die vorhandene Antriebskraft nicht ausreicht oder das Mischen des Materials besondere Schwierigkeiten macht, durch Ändern der Drehrichtung leicht Abhilfe geschaffen werden kann. Auch für die Reinigung und Entleerung ist die Änderung der Drehrichtung von großem Vorteil; ebenso sind eingeklemmte Steine zwischen Trommelwand und Mischflügel durch mehrmaliges Ändern der Drehrichtung leicht zu entfernen. Die Maschine gestattet auch kontinuierlichen Betrieb, für den sie sogar vorwiegend benutzt wird.

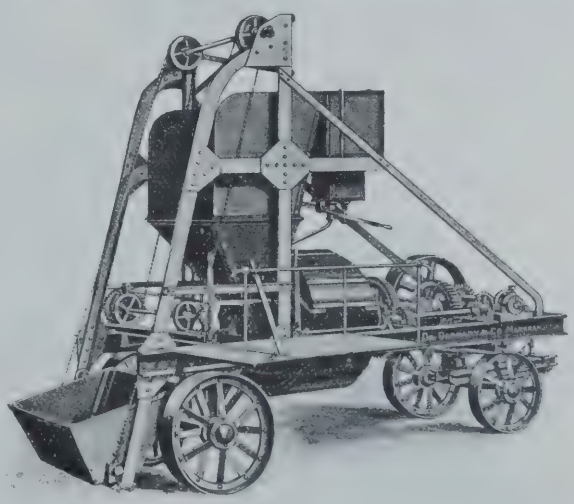

Abb. 36.

Universaltrommelmischer. System Gaspary.

System Kayser. Der Mischprozeß geht in der Weise vor sich, daß durch einen mittelst Hebelzuges einzurückenden Vorfüllkasten und durch einen Trichter die Trommel mit Material gefüllt wird. Ein im Füllungstrichter angebrachtes Schüttelwerk, welches nach Belieben ein- und ausgerückt, und durch einen Exzenter in Bewegung gesetzt werden kann, verhindert ein Ansetzen von Material am Einlaufe. Über der Trommel ist eine selbsttätige Abmeßvorrichtung für den Wasserzulauf angeordnet. Nach einer 1/4 Minute lang dauernden Drehung der Trommel ist die Betonmischung bereits vollendet. Durch Umstellen eines Steuerhebels entleert sich die Trommel, ohne daß ein Kippen erforderlich ist. Es liegt dies daran, daß die Mischflügel im Trommelinnern so angeordnet sind, daß bei Drehung der Trommel in der einen Richtung das Gut nur gemischt wird, während bei Drehung im entgegengesetzten Sinne es zum Entleerungsende befördert wird.

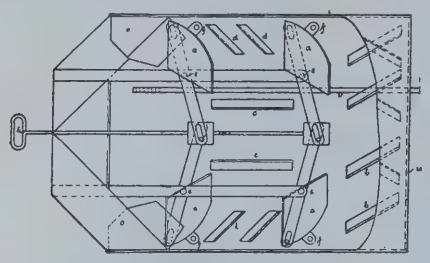

Abb. 37.
Grundzug der Mischtrommel.

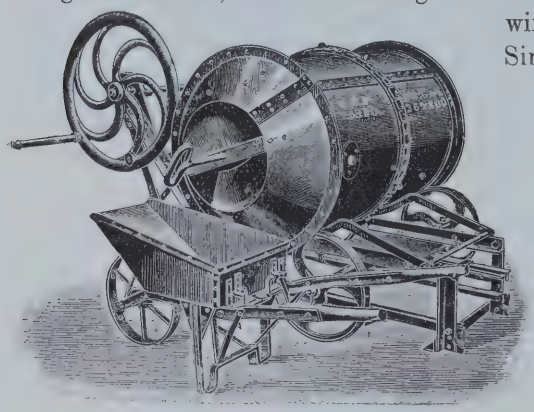

Abb. 38. Mischer mit Handbetrieb.

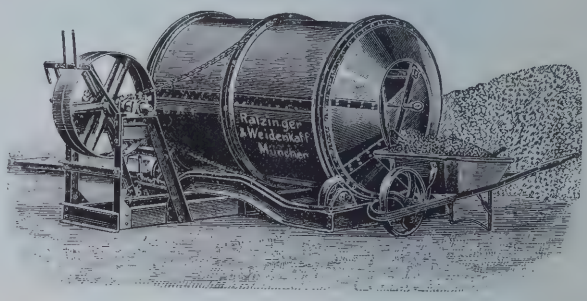

Abb. 39. Mischer mit Maschinenbetrieb.

Abb. 37—39. Mischmaschine mit umlaufender Trommel. System Ratzinger und Weidenkaff.

Die Wahl des einzubauenden Motors ist beliebig.

System Ratzinger und Weidenkaff in München (Abb. 37, 38 und 39). Das Material wird in Kippkarren, die zugleich als Meßgefäße dienen, an das hintere Trommelende gefahren und durch einfaches Aufkippen in die Trommel geschüttet. Die Wasserzuführung erfolgt von einem aufgebauten Behälter aus, und zwar nur zeitweise, da die Rohstoffe zunächst trocken gemengt werden. Eigenartig angebrachte Transport-, Wende- und Hebeschaufeln transportieren das Material unter fortwährendem Überstürzen gegen das andere Ende der Trommel. Die letzten Transportschaufeln, welche den fertigen Beton entleeren, sind in der Mitte geteilt, und zwar ist diejenige Hälfte, welche sich noch im zylindrischen Teile der Mischtommel befindet, um Zapfen drehbar angeordnet (Abb. 37). Werden diese Schaufeln nach rückwärts gestellt, so wird die ganze Masse nach rückwärts geworfen, also erneut in den

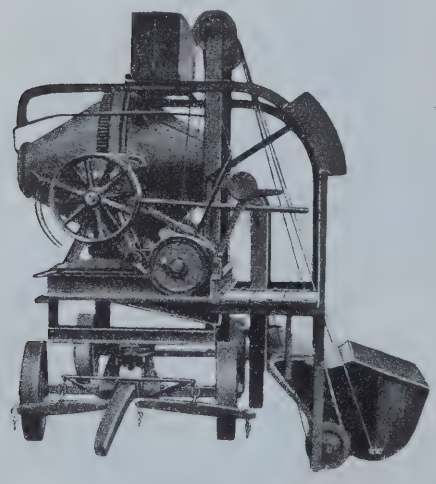

Abb. 40.
Fahrbare Mischmaschine mit Materialaufzug. System Smith, Milwaukee.

Mischungsgang gebracht, während eine Umstellung nach vorn ein Ausfließen des Betons bewirkt. Nur bei Beton, der eine besonders lange Mischdauer verlangt, also in Ausnahmefällen, wird die Rückwärtsbewegung eingeleitet; i. d. R. wirkt die Mischmaschine kontinuierlich, indem der Auslauf offen bleibt. Die Abbildungen stellen eine von Hand betriebene kleine Maschine mit einer Füllung von 80—130 l, und einer Tagesleistung von 25—30 cbm und eine größere mit 200—350 l Fassung, 3—4 PS. Kraftbedarf und Tagesleistung bis 120 cbm dar.

e) Mischmaschinen, bei denen die sich um eine wagerechte Achse drehende Mischtrommel zum Entleeren um eine senkrecht zu ihrer Drehachse stehende Achse gekippt wird, ohne daß hierbei der Antrieb der Maschine anzuhalten ist. Zu den meist kontinuierlich arbeitenden Mischern gehört der kippbare Trommelmischer von Th. L. Smith in Milwaukee, gebaut von den Draiswerken in Mannheim-Waldhof. Hier besteht (Abb. 40) der Mischapparat aus einer doppelt konischen Mischtrommel mit offenen Enden, die im größten Durchmesser von einem zur Drehbewegung dienenden Zahnkranz umschlossen wird. Die Mischtrommel ist in einem Rahmen derart gelagert, daß sie mit der Auslauföffnung nach unten gekippt werden kann zur Entleerung. Die Füllung erfolgt durch einen Trichter, der mit der Lagerung der Trommel so verbunden ist, daß er die Kippbewegung mitmacht, sich aber nicht dreht.

Abb. 41 a.
Ansicht des Muldenmörtelmischers. System Bünger.

Die Maschine wird in Größen von 100, 200, 300, 600 und 900 l Trommelfüllung feststehend und fahrbar geliefert.

II. Bei der zweiten Hauptgruppe, den kontinuierlich arbeitenden Mischmaschinen, zu denen, wie vorstehend erwähnt, schon manche aus Gruppe I einen Übergang bilden, lassen sich Anordnungen mit wagerechtem, feststehendem Troge

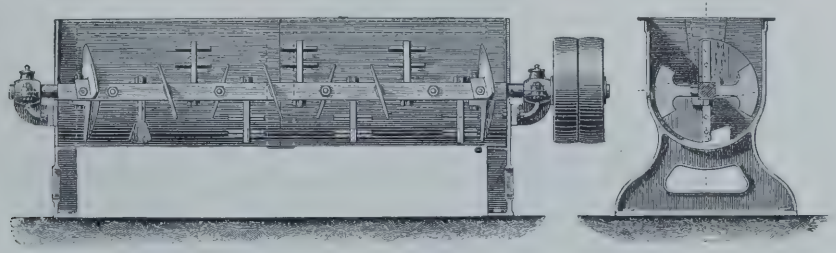

Abb. 41 b. Abb. 41 c.
Längs- und Querschnitt durch den Muldenmörtelmischer. System Bünger.

und innen liegender Mischschnecke (a), dsgl. mit geneigtem, festem Troge (b), mit geneigtem (c) und wagerechtem (d) aber sich drehendem Troge unterscheiden. Die nachfolgend kurz beschriebenen Bauarten seien als Vertreter dieser verschiedenen Anordnungen angesehen.

Bauart a. System Bünger-Düsseldorf (Abb. 41 a, b, c). Die wagerechte offene Mulde trägt eine sehr kräftige Mischwelle, die abwechselnd mit Mischkreuzen und Mischschaufeln besetzt ist. Letztere besorgen den Transport des Mischgutes von einem Ende der Mulde zum anderen, wo das fertige Mischgut ausläuft. In der Regel ist die Mulde 3,0 m lang, da sich diese Länge gerade für eine vortreffliche Mischung des Betons bewährt hat. Die stündliche Leistung dieser Maschine beträgt rd. 5 cbm.

Bauart b. System Gauhe, Gockel & Co. Die schrägliegende Trog-, Mörtel- und (nebenbei) Betonmischmaschine (Abb. 42), kann für Hand- und Maschinenantrieb eingerichtet werden; sie liefert im ersteren Falle stündlich $1^1/_2$—2 cbm, bei maschinellem Betriebe 4—6 cbm, bzw. soviel als 2—3 Einwerfer aufzugeben vermögen. Der Kraftbedarf beträgt

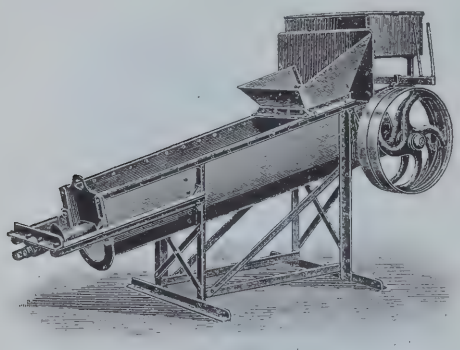

Abb. 42.
Feststehender Muldenmischer mit schräg liegend. Trog. Syst. Gauhe, Gockel & Co.

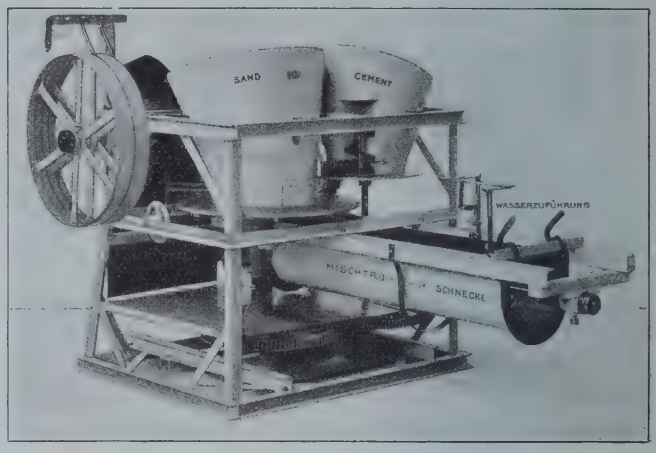

Abb. 43.
Trichter-Tellermischer mit zwei Tellern. System Gaspary.

1—2 Mann bzw. $1^1/_2$—2 PS. Eine Abart dieser Anordnung durch Hinzufügung einer besonders wirksamen automatischen Zuführung der Rohstoffe zeigt die Bauart **Gaspary** (Abb. 43 und 44). Hier erfolgt die genaue Abmessung von Sand, Kies, Zement usw.

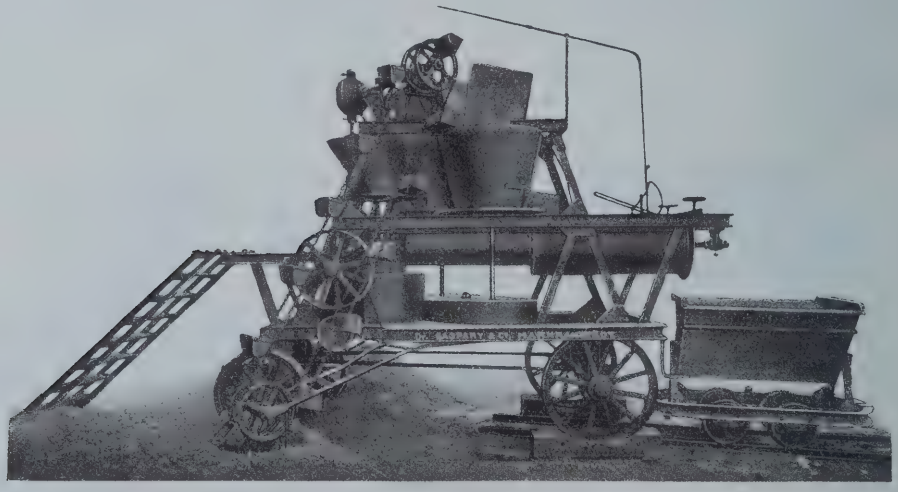

Abb. 44.
Fahrbarer Dreitrichter-Tellermischer für Grossbetrieb. System Gaspary.

selbsttätig durch verstellbare Auslaßöffnungen und Abstreicheisen. Unter den konischen Vorratsbehältern sind rotierende Teller als Böden angeordnet. Durch die kreisende Bewegung des Bodens wird der untere Teil des darauf lagernden Materials in steter Bewegung gehalten, tritt dann durch die Auslaßöffnung auf den äußeren Tellerrand hinaus und wird von hier aus durch den Abstreicher abgestrichen. Die hierdurch bedingte Vormischung erfolgt in gründlicher Weise, weil das Material in kleinen Mengen

zusammengeführt wird, und sich während des Hinabfallens in den Mischtrog überstürzt. Die weitere Durcharbeitung des Mischgutes bewirkt eine Bandschnecke, deren Flügel das Gut mischen und vor sich her schieben. Die Befeuchtung des Mörtels findet in dem oben offenen Mischtroge statt, also unter dauernder Kontrolle. Den gebrauchsfähigen Mörtel scheidet die Maschine ununterbrochen aus. Während Abb. 43 einen normalen Trichtertellermischer feststehender

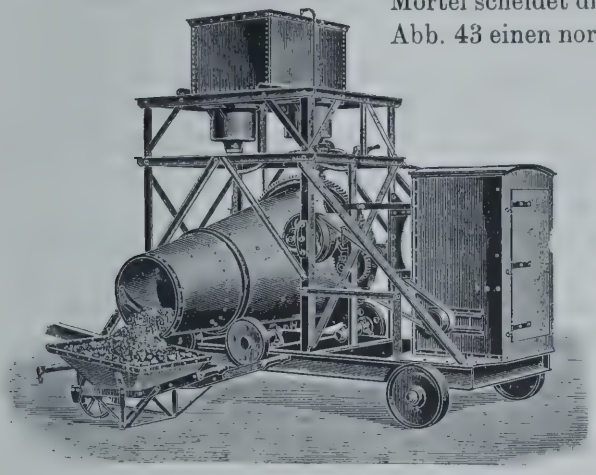

Abb. 45.

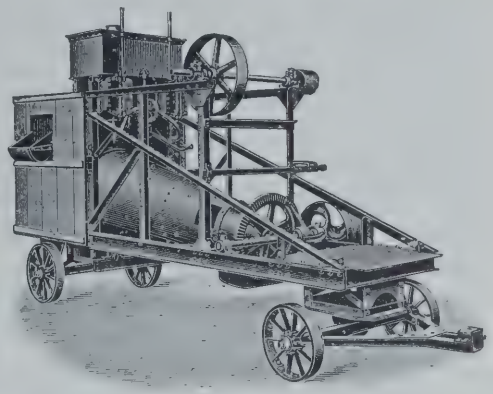

Abb. 46.

Betonmischer mit geneigtem Trog und Dauerbetrieb. System Gauhe, Gockel & Co.

Art mit 2 Trichtern für Mörtelmischung darstellt, zeigt Abb. 44 einen großen Dreiteller-typ für ausgedehnte Betonarbeiten. Die Leistungen der Maschinen liegen je nach der Größe zwischen 6 und 40 cbm in der Stunde.

Bauart c. System Gauhe, Gockel & Co. Der Mischbehälter (Abb. 45 u. 46) hat eine konische, trichterartige Form; hierdurch ist die Anordnung einer großen, niedrig liegenden Einfüllöffnung und ein Zusammendrängen des Mischgutes nach dem Auslaufe erreicht. Da die Unterseite des Mischkegels in der Horizontalen liegt, sich also nach dem Auslaufe nicht senkt, so kann der Mischkegel verhältnismäßig lang gebaut werden, was für ein gründliches Mischen von großem Vorteil ist. Die beiden dargestellten Arten unterscheiden sich dadurch, daß in Abb. 45 die Achse des Mischers senkrecht zur Gestellachse, in Abb. 46 parallel zu ihr liegt.

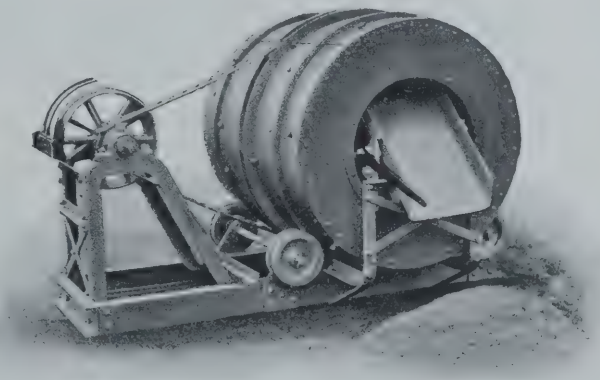

Abb. 47.

Mischmaschine Universal mit wagerecht drehbarem Troge und Dauerbetrieb. System Bünger.

Die Leistung des Mischers ist eine sehr große, bis zu rd. 60 cbm in der Stunde.

Bauart d. System Bünger (Abb. 47) (auch satzweise verwendbar). Die Mischmaschine besteht in der Hauptsache aus einer zylindrischen Mischtrommel, in deren Stirnböden sich die Öffnungen für Eintritt und Austritt des Mischgutes befinden. Die Trommel ist außen auf Rollen gelagert und wird durch Kettenantrieb vom Vorgelege

aus in Umdrehung gesetzt. Im Innern der Trommel befinden sich an dem zylindrischen Trommelmantel Misch- und Transportschaufeln. Die ersteren veranlassen bei der Drehung der Trommel ein fortwährendes Herab- und Durcheinanderstürzen des Mischgutes, während die Transportschaufeln dasselbe langsam der Auswurföffnung der Maschine zuführen. Das Durcheinanderarbeiten des Mischgutes erfolgt hierbei in so gründlicher Weise, daß eine äußerst innige Mischung entsteht.

In der Auswurföffnung der Mischtrommel befindet sich eine in die Trommel ragende Schüttrinne, die in der Mitte drehbar angeordnet ist und von Hand leicht nach oben oder unten eingestellt werden kann. Das am Ausgangsende der Trommel angelangte Material wird durch die Mischschaufeln auf die Schüttrinne geworfen und von dieser, falls das in die Trommel hineinragende Ende der Schüttrinne nach oben eingestellt ist, nach außen in untergestellte Transportgefäße abgeführt. Stellt man das in der Trommel befindliche Schüttrinnenende nach unten, so wird alles auf die Schüttrinne fallende Material wieder nach dem Einwurfende der Trommel zurückgeleitet, um von neuem den Mischweg zu durchlaufen. Die Mischdauer kann daher beliebig lange ausgedehnt werden, da das Material die Trommel nicht früher verlassen kann, als bis die Schüttrinne umgestellt worden ist.

Durch diese einfache Einrichtung der Umstellung der Rinne hat man es in der Hand, die Maschine entweder für durchlaufende Mischungen oder für in sich abgeschlossene Mischungen in beliebig langer Dauer zu benutzen. Die Trommel bleibt in beiden Fällen in ununterbrochener Drehung in der gleichen Richtung. Es ist also auch bei den in sich abgeschlossenen Mischungen weder ein Stillsetzen der Maschine zur Füllung oder Entleerung der Trommel, noch eine Änderung der Drehrichtung erforderlich, sodaß sich hieraus eine äußerst einfache Konstruktion und leichteste Bedienung der Maschine ergibt.

Eine ähnliche Anordnung zeigt auch die Bauart der Maschinenfabrik Kraus-München, nur ist hier eine besondere, sehr zweckmäßige Entleerungsvorrichtung, bestehend aus 2 Entleerungskanälen, vorhanden, die, ziemlich hoch ausmündend, die unmittelbare Förderung des fertigen Betons in untergeschobene Karren u. dgl. gestatten.

---

§ 97. Eisenportlandzemente, Schlackenzemente und ähnliche Bindemittel (Mischzemente).

I. Der Eisenportlandzement.

Nach den Deutschen Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Eisenportlandzement vom Dezember 1909 ist „Eisenportlandzement ein hydraulisches Bindemittel, das aus mindestens 70 v. H. Portlandzement und 30 v. H. gekörnter Hochofenschlacke besteht. Der Portlandzement wird gemäß der Begriffserklärung der Normen des Vereins Deutscher Portlandzementfabrikanten hergestellt. Die Hochofenschlacken sind Kalk-Tonerde-Silikate, die beim Eisen-Hochofenbetrieb gewonnen werden. Sie sollen auf 1 Gew.-T. lösliche Kieselsäure (SiO_2) + Tonerde (Al_2O_3) mindestens 1 Gew.-T. Kalk und Magnesium enthalten. Der Portlandzement und die Hochofenschlacke müssen fein vermahlen, im Fabrikbetriebe regelrecht und innig miteinander vermischt werden. Zusätze zu besonderen Zwecken, namentlich zur Regelung der Bindezeit, sind nicht zu entbehren,

jedoch in Höhe von 3 v. H. der Gesamtmasse begrenzt, um die Möglichkeit von Zusätzen lediglich zur Gewichtsvermehrung auszuschließen“ [1]).

Wie aus dieser Erklärung hervorgeht, setzt sich der Eisenportlandzement aus 2 Zementen zusammen, aus 70 v. H. kalkreichem und 30 v. H. kalkarmem; und zwar wird der erstere durch eine innigste Mischung von äußerst fein gemahlener Hochofenschlacke und Kalksteinmehl, Brennen dieses Gemisches bis zur Sinterung und Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit gewonnen, während der zweite Bestandteil mit der Aufgabe, den Kalküberschuß des ersten kalkreichen Portlandzementes auszugleichen, besonders aufbereitete Hochofenschlacke ist, die geschmolzen, granuliert, geglüht und getrocknet wird. Hierbei sei besonders hervorgehoben, daß es für das Endprodukt als Zement von größter Bedeutung ist, daß diese Hochofenschlacke dem Zementklinker angepaßt wird, und daß durchaus nicht jede Schlacke verwendbar ist, manche sogar in durchaus schädlicher Weise das Gemenge beeinflussen. Vor allem ist es naturgemäß notwendig, daß die Schlacke basischen Charakter zeigt.

Die erste praktische Verwendung der hydraulischen Eigenschaften einer derartigen Schlacke wurde i. J. 1865 durch Fr. Lührmann bewerkstelligt, der aus einem Gemische gekörnter, gemahlener Hochofenschlacke Kunststeine formte (vgl. S. 194); hieraus entwickelte sich — wenn auch zunächst noch mit großen Schwierigkeiten kämpfend — im Laufe der Zeit die heute sehr bedeutsame Schlackensteinindustrie.

Eine weitere Benutzung fand die feingemahlene Hochofenschlacke durch ihre Vermengung mit pulverförmigem Kalkhydrat zur Erzeugung der Puzzolan- oder Schlackenzemente, die jedoch in Deutschland wenig Boden gewannen und den Wettbewerb mit dem normalen Portlandzement nicht auszuhalten vermochten, während sie in Frankreich und namentlich in Österreich zu guten Erfolgen gelangt sind. Einen weiteren Schritt nach der Seite der Erzeugung eines Zementes, vorwiegend aus Hochofenschlacke, bildeten dann die wohlgelungenen Versuche der Vorwohler Portlandzementfabrik (G. Prüssing), welche von Beginn der achtziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts an, besonders geeignete, feinst gemahlene Hochofenschlacke ihrem Portlandzement zusetzte und ihn dadurch nicht unerheblich verbesserte; seine einwandfreien Eigenschaften und seine gute Bewährung zeigte dieser Zement in den folgenden Jahren beim Bau der Berliner Stadtbahn. Diese günstigen Ergebnisse der Praxis fanden ihre Stütze in wissenschaftlichen Untersuchungen von Dr. Michaëlis und Tetmajer, welche darlegten, daß durch Zusätze von geeigneter, gemahlener Hochofenschlacke der normale Portlandzement eine Verbesserung erfahren könne. Von jener Zeit an ist die Frage der Verwendung geeigneter Schlacke in der Zementfabrikation dauernd weiter verfolgt, und namentlich

---

[1]) Zu dieser Begriffserklärung wird in den Normen die folgende „Begründung und Erläuterung“ angeführt:

Durch langjährige, staatlich ausgeführte Versuche ist festgestellt worden, daß wenn geeignete, gekörnte Hochofenschlacke bis zu 30 % mit Portlandzementklinken fabrikmäßig innig gemischt wird, der so erhaltene Zement „Eisenportlandzement“ dem Portlandzement als gleichwertig zu erachten ist, und nach dessen Normen beurteilt werden kann. (Vergl. Mitt. zu S. 618, der Verf.)

Der Eisenportlandzement steht unter der regelmäßigen Kontrolle des Vereins Deutscher Eisenportlandzementwerke, dessen Mitglieder sich gegenseitig verpflichtet haben, den Eisenportlandzement genau nach der vorstehenden Begriffserklärung herzustellen.

Über den sich aus den Schlußfolgerungen von Prüssing, Michalis und Tetmajer entstandenen Streit vergleiche die zusammenfassende kritische Darlegung von Prof. E. Dietrich-Berlin in dem Wochenblatt für Baukunde 1885 Nr. 93 und 95. Hierbei stellte sich Dietrich mit Entschiedenheit durchaus auf die Seite derer, welche eine zielbewußte und zweckentsprechende Zumischung geeigneter Hochofenschlacke zum Normalzement für günstig erachteten.

durch die von Dr. Passow vermittelte Erkenntnis gefördert worden, daß die wassergranulierten, basischen Hochofenschlacken infolge ihres Ursprunges Portlandzemente seien, da sie als wesentliche Bestandteile Ton und Kalk aufweisen, ferner durch das Brennen im Hochofen von der ihr als Rohstoff innewohnenden Kohlensäure befreit worden seien und bei Wasserzusatz eine zwar langsame, aber sich sicher vollziehende Selbsterhärtungsfähigkeit besitzen. Da wegen dieser trägen Anfangserhärtung die gemahlene, basische Schlacke sich nicht allein zu einem Handelszement eignet, wird ihr als Beschleunigungsmittel ein kalkreicher gewöhnlicher Portlandzement — hergestellt, wie vorerwähnt, aus Kalk und aus Hochofenschlacke — zugesetzt.

Die Schlacke ist also der Hauptträger der Erhärtung, der zugemahlene Portlandzementklinker spielt nur die Rolle des Erregers.

Wie weit die Gleichartigkeit zwischen basischer Hochofenschlacke und Portlandzement einerseits geht, andererseits die Gleichartigkeit zwischen Portlandzement und Eisenportlandzement ist, möge die Nebeneinanderstellung der drei folgenden Analysen kennzeichnen:

Es enthalten:

	Hochofenschlacke	Eisenportlandzement	Portlandzement	
Kalk	44—52	54—60	58—65	v. H.
Kieselsäure	27—35	20—25	20—26,5	
Tonerde und Eisenoxyd	8—20	9—15	6—14	
Magnesia	0,6—5	0,6—5	1—3	
Alkalien	—	—	0,2—0,5	
Schwefelsäure	1,2—3	0,8—2,7	0,2—2,5	

Über den Herstellungsvorgang der Eisenportlandzemente sei das Nachfolgende kurz mitgeteilt; im allgemeinen schließt sich dieser Prozeß dem des normalen Portlandzementes an.

Die Kühlung der flüssigen Schlacke wird naturgemäß unmittelbar beim Hochofen vorgenommen; sie kann erfolgen durch Granulation im kalten Wasser — Verfahren von v. Langen — oder durch Zerstäuben mit Luft oder Wasserdampf — Passowverfahren. Bei ersterer Art der Zusammenführung von Schlacke und Wasser, wobei darauf zu achten ist, daß sie gleich nach dem Ausfließen ganz unter Wasser gelangt und sehr stark zerteilt wird, entsteht sie in Form von einige Millimeter im Durchmesser besitzenden Körnern, die sich leicht mahlen lassen, während nach dem Verfahren von Dr. Passow (DRP. 128381) eine Zerstäubung durch Luft oder Wasserdampf dadurch bewirkt ist, daß „die Hochofenschlacke in flüssigem Zustande so lange einem Luftstrom ausgesetzt wird, bis die erstarrte Schlacke, gemahlen und mit Wasser angemacht, ohne Zuschläge zementartig erhärtet“ [1]). Diese Kühlung durch Zerstäuben

[1]) Praktisch wird diese Zerstäubung durch sogen. Luftgranulatoren ausgeführt z. B. den von Fellner und Ziegler (D. R. P. 128309).

Bei diesem, sowie vielen hierher gehörenden Bauarten, stürzt die flüssige Schlacke auf einen stufenförmigen, sich drehenden Teller, welcher mit Düsen versehen ist, durch die man Wasserdampf oder Luft einströmen läßt. Hierdurch werden die Schlackenteilchen gegen einen umgebenden Eisenmantel geschleudert, der durch Wasser gekühlt ist; alsdann fallen sie durch einen Trichter zu Boden und werden von hier aus nach außen gezogen. Durch den Mantel tritt nicht selten der Nachteil ein, daß sich hier Schlackenteile festkleben, die erst später herabfallen und hierdurch ein ungleichmässig gekühltes Erzeugnis bedingen. Dies vermeidet die Jantzensche patentgeschützte Einrichtung, bei der die Schlackenteilchen gegen eine sich drehende, durch Wasser gut gekühlte Trommel geschleudert werden. Näheres vgl. Stahl und Eisen. 1910. S. 824.

hat den Vorteil, daß ein nachträgliches Trocknen der Schlacke entfallen kann, erschwert aber nicht selten das Mahlen, da die zerteilte Schlacke wegen der weniger starken Abkühlung nicht so glasig ist, wie bei der Wassergranulierung. Deshalb stellt letztere z. Z. wieder die meist verwendete Aufbereitungsart der Schlacke dar.

Der auf die Wassergranulierung folgende Trockenprozeß wird i. d. R. in sich drehenden Trockentrommeln ausgeführt, welche durch besondere Kohlenfeuerung oder Gichtgase geheizt werden und Vorrichtungen zur Abführung der Gase und Wasserdämpfe besitzen. Meist fällt die getrocknete Schlacke am Auslaufe der Trommel in ein senkrechtes Brechwerk, von dem aus sie auf eine Transportvorrichtung gehoben wird.

Nunmehr wird ein Teil der getrockneten Schlacke mit vorher zerkleinertem Kalkstein in entsprechendem Verhältnisse gemischt und das Mischgut zu Rohmehl vermahlen. Dieses wird mit Wasser angefeuchtet und in Ziegelform gepreßt, worauf die Klinker i. d. R. in ununterbrochen arbeitenden Schachtöfen (Schneideröfen), die mit Gebläse arbeiten, oder in Drehrohröfen bis zur Sinterung gebrannt werden. Die abgekühlten Klinker werden alsdann meist in einem Feinsteinbrecher vorgebrochen und endlich mit der genau berechneten und erforderlichen Menge von Hochofenschlacke in Kugel- oder Rohrmühlen zu Eisenportlandzement vermahlen und aufs innigste vermengt. Besteht die Befürchtung, daß feinste Eisenteile im Zement enthalten sein können, so wird er noch durch einen Windseparator gereinigt. Die Mehlfeinheit soll eine so große sein, daß nur 8—10 v. H. Rückstand auf dem 5000 Maschensiebe verbleiben. Durch Transportvorrichtungen gelangt der fertige Zement schließlich in Silos, von denen er durch Transportschnecken u. dgl. in kleinere Packbehälter gebracht wird, um von hier aus durch automatisch arbeitente Packmaschinen in die Fässer bzw. Säcke zu wandern.

Der Eisenportlandzement ist im allgemeinen ein Zement, der dem Normalportlandzement durchaus gleichsteht, ihn sogar in den fetteren Mischungen nicht selten an Festigkeit übertrifft; nur bei sehr hohem Sandzusatze (1 : 5 — 1 : 7) und Lufterhärtung zeigten, wie Versuche — namentlich des Materialprüfungsamtes zu Großlichterfelde — ergaben, sich nicht unerheblich geringere Festigkeiten als bei den in Vergleich gezogenen normalen Portlandzementen[1]). Es erscheint dies deshalb nicht ohne Bedeutung, weil für die Verwendung bei öffentlichen Bauten Eisenportlandzement als, dem normalen Produkte gegenüber, gleichwertig anzusehen ist, falls er die Anforderung der Portlandzementnormen bei Wasser- und Lufterhärtung erfüllt. Hierbei kann es aber sehr leicht vorkommen, daß letzteres für die in den Normen vorgeschriebenen Proben 1 : 3 zwar zutrifft, in mageren Mischungen jedoch der Eisenportlandzement nicht so schnell und gut erhärtet, wie man aus dem Erfüllen der Normenprobe schließen kann und beim normalen Produkt auch tatsächlich eintritt. Daher ist es durchaus berechtigt, daß der ausführenden Behörde neuerdings zur Pflicht gemacht worden ist, sich nicht auf die Normenprüfung allein zu verlassen, sondern die Prüfung in der Mischung, wie sie auf der Baustelle Verwendung finden soll und mit demselben Sande, der hier benutzt wird, anzustellen (vgl. auch S. 618).

Wenn auch von verschiedenen Seiten vorgeschlagen worden ist, die Zumischung der gemahlenen Hochofenschlacke, d. h. die 30 v. H. an der Gesamtmasse, erst auf der Baustelle vorzunehmen und diese Möglichkeit auch durch Laboratoriumsversuche[1]) des Großlichterfelder Prüfungsamtes als vorhanden erwiesen wurde, so ist es doch für die

[1]) Vergl. u. a.: Protokoll der Generalversammlung des Vereins Deutscher Portland-Zement-Fabrikanten vom 21.—23. II. 1910 — auch als Sonderabdruck erschienen — und Arm. Beton 1911. Februarheft S. 39–41.

bauliche Praxis nicht angängig, hiervon Gebrauch zu machen. Hierzu würde einerseits eine sehr genaue Kenntnis der Beschaffenheit der Zementklinker und der Hochofenschlacke gehören, denn man kann nicht, wie bereits erwähnt wurde, eine beliebige Schlacke wählen, wie auch die zweckmäßige Menge dieser nicht ohne weiteres zu beurteilen ist, und andererseits wird auf der Baustelle die Vermengung mit dem fein gemahlenen Zementklinker niemals so gleichmäßig, daneben nicht so billig zu erreichen sein, wie im Fabrikbetriebe.

Der in seinen weiteren Eigenschaften im allgemeinen dem Portlandzement gleichartige Eisenportlandzement ist — richtig zusammengesetzt — wie dieser durchaus volumenbeständig, und seinem Konkurrenten gegenüber sogar durch eine erheblich geringere Neigung, Schwindrisse zu erhalten, ausgezeichnet[1]). Eisenportlandzement wird als Raschbinder (für Häuserputz, Gesimsziehen, Arbeiten unter Wasserandrang), als Normalbinder (für Mauer- und Verputzarbeiten), sowie als Langsambinder (für Betonarbeiten, Kunststeine usw.) geliefert; er erhärtet an der Luft wie im Wasser, im ersteren Falle naturgemäß nur gut, wenn er gegen ein Austrocknen geschüzt, bzw. dauernd feucht gehalten wird. Seine Farbe ist meist blaugrau, des öfteren auch dunkler getönt; für besondere Zwecke wird jedoch auch ein ganz weißes Material geliefert. Beim Lagern unter Wasser färbt sich der abgebundene Eisenportlandzement dunkelgrün, wahrscheinlich die Folge sich bildender, geringer Mengen von Eisensulfid. Diese an der Luft sich verlierende Farbe beeinflußt keineswegs die Eigenschaften des Zementes in ungünstiger Weise.

Auch ist die Verwendung des Eisenportlandzementes die gleiche wie die des normalen Portlandzementes, und zwar sowohl in bezug auf seine Verarbeitung zu Mörtel und Beton als auch auf die Anwendungsweise dieser; es sei deshalb an dieser Stelle auf das in § 96 Gesagte verwiesen.

In gleicher Art sind die für Eisenportlandzement erlassenen Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung vom Dezember 1909, soweit das Abbinden, die Raumbeständigkeit, die Feinheit der Mahlung, die Bestimmung der Festigkeit und die hierzu dienenden Proben in Frage kommen, die gleichen wie für Portlandzement (vgl. S. 619—629), abgesehen von wenigen bereits auf S. 618 sowie vorstehend erwähnten Abweichungen. Namentlich werden von diesen die Begriffserklärung von Eisenportlandzement und die Festigkeit in mageren Mischungen berührt.

II. Schlackenzemente (Puzzolanzemente).

Schlackenzemente sind hydraulische, künstliche Bindemittel, welche aus feingemahlener basischer Hochofenschlacke und zu Pulver gelöschtem, feinem Kalkhydrat gemischt sind. Diese Vereinigung wird i. d. R. in Rohrmühlen vorgenommen, wodurch meist eine solche Feinheit des Zementmehls erreicht wird, daß auf dem 5000-Maschensiebe nur ein Rückstand von etwa 20 % verbleibt. Naturgemäß richtet sich die Menge des Kalkhydratzuschlages nach der chemischen Beschaffenheit der Schlacke; im allge-

[1]) Neben der Normenprobe kommt hier zum Nachweise, daß der Zement nicht treibt auch die sogen. Kochprobe in Frage. Hierbei werden 100 gr Zement mit 28—30 gr Wasser zu einem dicken Brei angerührt, 3 Minuten lang durchgearbeitet und alsdann kuchenartig auf einer Glasplatte ausgebreitet, und zwar in der Mitte etwa 1½ cm dick. Sobald der in einem geschützten zugfreien Raum von rd. 16 bis 20° C gebrachte Kuchen zu erhärten beginnt, muß man ihn mit einem feuchten Tuche bedecken, damit keinerlei Schwindrisse sind bilden. Nach 24 Stunden legt man den Kuchen mit oder ohne Glasunterlage in einen Topf mit kaltem Wasser, das nunmehr langsam zum Sieden gebracht und in diesem Zustande 3 besser 4 Stunden erhalten wird. Ist der Kuchen hiernach noch hart, glatt, ohne jeden Riß und ohne jede Verkrümmung, so ist der betreffende Zement als raumbeständig anzusehen.

meinen kann man aber damit rechnen, daß auf 1 Gew.-T. Kalk 4—5 Gew.-T. Schlacke entfallen. Nach Untersuchungen von Tetmajer eignen sich zur Erzeugung von Schlackenzementen namentlich solche Schlacken, in denen das Verhältnis von:

Kalk : Kieselsäure : Tonerde = 46 : 30 : 16 beträgt.

Das spezifische Gewicht der normalen Schlackenzemente kann zu etwa 2,7 angenommen werden, liegt also nicht unerheblich unter dem des Portlandzementes. Wenn auch reiner Schlackenzement mit Wasser nicht so fest erhärtet wie Portlandzement, so erlangt er doch in Vermengung mit Sand in den üblichen Mischungsverhältnissen nicht nur dieselbe Festigkeit wie letzterer, sondern er übertrifft ihn sogar hin und wieder; auch ist seine Volumenbeständigkeit eine sehr gute; ferner erscheint hervorhebenswert, daß er unter Wasser eine nur geringe Schlammbildung zeigt und im Preise billiger als die anderen Zemente steht. Schlackenzement besitzt aber oft die Nachteile, daß er langsam abbindet, am langsamsten in der ersten Zeit, namentlich unerwünscht unter Wasser und bei Frost, daß letzterer ihn sehr stark beeinflußt, daß ferner sein geringes Raumgewicht nicht selten zu einer Entmischung des Mörtels führt, indem in diesem der schwerere Sand nach unten fällt, daß er ferner einer sehr starken mechanischen Abnutzung unterliegt, also z. B. für Estriche, Treppenstufen usw. nicht verwendet werden sollte, endlich bei Erhärten an der Luft eine starke Feuchthaltung — etwa während zweier Wochen — verlangt, wenn er nicht einen Teil der schon erlangten Festigkeit wieder einbüßen soll.

Guter Schlackenzement — ein mehlweiches Pulver von meist lichtgrauer Farbe — nur mit etwa 20—30 v. H. Wasser angemacht, erhärtet in etwa 20 Stunden. In Mischung 1 : 3 mit 10 v. H. Wasser soll er nach den Schweizer Normen nach 28 tägiger Wassererhärtung etwa 16 kg/qcm Zug- und 150 kg/qcm Druckfestigkeit aufweisen, während Prof. Dr. Schoch die folgenden — sehr guten — Ergebnisse fand[1]) (für 1 : 3):

Erhärtungszeit	7	28	365 Tage,
Zugfestigkeit	12	25	36 kg/qcm,
Druckfestigkeit	108	219	345 „ .

Nach Tetmajer sind für Schlackenzemente zu je 1 cbm Mörtel erforderlich bei:

1 : 1	900 kg	Zement	und	780 l	Sand,
1 : 2	552 „	„	„	1010 „	„ .
1 : 3	400 „	„	„	1170 „	„ .

Die Verwendungsmöglichkeit des Schlackenzementes ist — wenn auch durch seine besonderen Eigenschaften im Hochbau begrenzt — im Ingenieurbau eine ziemlich allgemeine, namentlich dort, wo stets auf ausreichende Feuchtigkeit des Mauerwerkes zu rechnen ist, sowie — wegen der geringen Schlammbildung — bei Betonierungsarbeiten größeren Umfanges.

Ein — namentlich in Österreich viel verwendeter — Schlackenzement ist der von Königshofen bei Beraun in Böhmen; seine chemische Zusammensetzung ist die folgende:

Kieselsäure	21,2 v. H.
Kalk	55,5 v. H.
Tonerde	15,0 v. H.
Magnesia	3,0 v. H.
Eisenoxyd	0,1 v. H.
Schwefelsäure	1,7 v. H.

[1]) Vergl. Dr. Kiepenheuer, Kalk und Mörtel. S. 113.

Schwefel	0,7 v. H.
Kohlensäure	0,65 v. H.
Wasser	2,4 v. H.

Zur Erzielung größerer Beständigkeit im Meerwasser wird dem Königshofer Zement Bariumkarbonat zugesetzt; hierdurch werden die im Zement und dem zum Anmachen dienenden Meerwasser vorhandenen, löslichen Sulfate in unlösliches Bariumsulfat übergeführt; zugleich werden durch diesen Zusatz auch die Festigkeiten nicht unerheblich erhöht.

Das spezifische Gewicht liegt zwischen 2,8 und 2,9; der Zement ist ein Mittel- bis Langsambinder von großer Volumenbeständigkeit und sehr feiner Mahlung (< 35 v. H. Rückstand auf dem 5000 Maschensiebe). Die Zugfestigkeit nach der Normenprobe liegt nach ausgedehnten Versuchsreihen der österreichischen Prüfungsanstalten bei rd. 30 kg/qcm, seine Druckfestigkeit bei etwa 280 kg/qcm; auch nimmt die Festigkeit des Mörtels im Laufe der Zeit sehr erheblich zu; so ergab z. B. die Untersuchung in Mischung:

		1 : 3	1 : 4	1 : 5	
Als mittlere Zugfestigkeit	nach 28 Tg.	22	16	15	kg/qcm.
„ „ „	„ 88 „	42	32	28	
„ „ „	„ 148 „	59	47	41	
und als Druckfestigkeit	„ 28 „	181	114	109	
„ „ „	„ 88 „	264	154	139	
„ „ „	„ 148 „	390	215	184	

Die Haftfestigkeit des reinen Zementes an Ziegeln wurde nach 28 Tagen zu 34,0 kg/qcm gefunden, der Erhärtungsbeginn bzw. die volle Abbindezeit bei 20 v. H. Wasserzusatz zu 10 Minuten und 50 Std., bei 25 v. H. Wasser zu 35 Minuten und 74 Std., endlich bei 30 v. H. Wasser zu 83 Minuten und 100 Std. ermittelt.

Die Verwendung des Königshofer Schlackenzementes im Hoch-, Brücken-, Wasser- und Tunnelbau ist eine allgemeine; viele wohlgelungene Bauausführungen bezeugen die Güte dieses Bindemittels.

In Österreich sind „Bestimmungen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Schlackenzement“ — aufgestellt vom Österr. Ingenieur- und Architekten-Verein im Jahre 1907 — eingeführt. Aus ihnen sei das Nachfolgende mitgeteilt:

Zur Regulierung technisch wichtiger Eigenschaften ist ein Zusatz fremder Stoffe bis zu 2 v. H. des Gesamtgewichtes ohne Änderung des Namens zulässig. Der Preis ist nach Gewicht für 100 kg zu stellen. Die Fässer sollen 200 kg Bruttogewicht zeigen, daneben sind Säcke von je 50 kg brutto zugelassen. Gewichtsabweichungen sind bei Fässern bis zu 5 v. H., bei Sackpackung bis zu 1,5 v. H. nicht zu beanstanden. Das Wort Schlackenzement und der Herstellungsort hat auf den Verpackungen zu erscheinen. Es werden rasch, mittel und langsam abbindende Zemente unterschieden; unter ersteren — nur mit Wasser angemacht — sind solche zu verstehen, deren Erhärtungsbeginn unter 10′ eintritt, während bei Herausrücken dieses Zeitpunktes über 30′ hinaus der Zement als Langsambinder anzusprechen ist. Raschbinder sind stets besonders zu verlangen. Sowohl an der Luft wie unter Wasser muß Schlackenzement volumenbeständig sein; dies ist nachzuweisen an der Luft durch die Darrprobe[1]) in Verbindung mit der

[1]) Ein aus reinem Zement auf einer Glasplatte hergestellter Kuchen von etwa 10 cm Durchmesser und 1 cm Dicke wird bis zum Beginne des Abbindens in geschlossenem Kasten feucht aufbewahrt und hierauf in einem Trockenschranke einer Temperatur, die allmählich bis 120° C steigt,

Kuchenprobe unter Wasser, bei Wassererhärtung durch letztere allein. Die Mahlung soll so fein sein, daß der Rückstand auf dem 5000 Maschensiebe nicht mehr als 30 v. H., auf dem 900 Maschensiebe weniger als 5 v. H. beträgt. Die Bindekraft ist an einer Mischung von 1 Gew.-T. Zement auf 3 Gew.-T. Sand zu bestimmen; Zugfestigkeits- und Druckfestigkeitsproben sind an den beim Portlandzement eingeführten Normalkörpern zu ermitteln; hierbei soll betragen:

	Zugfestigkeit		Druckfestigkeit		
	nach				
	7 Tagen	28 Tagen	7 Tagen	28 Tagen	
Bei langsam- und mittelbindenden Schlacken-Zementen .	12	18	—	180	kg/qcm
Bei raschbindenden Schlacken-Zementen	8	12	—	120	kg/qcm

Hierbei ist das Mittel aus den vier besten Ergebnissen von sechs geprüften Körpern als mittlere Festigkeit anzunehmen[1]).

III. Mischzemente[2]).

Mischzemente oder gemischte Zemente sind Erzeugnisse, welche durch Vermahlung von Portlandzementklinkern oder maschinelle Mischung fertiger Zemente mit Zuschlägen gewonnen werden; es geschieht dies zur Steigerung der Geschwindigkeit des Bindens, der Haftung, der Wasserdichtheit, des Sandbindevermögens usw. Derartige Bindemittel sind stets als gemischte Zemente zu bezeichnen und in Rechnung zu stellen.

Zu nennen sind hier: a) der Lambert-Zement (Köln), ein Schnellbinder, als nachträgliches Dichtungsmaterial für undichtes Betonmauerwerk empfohlen, b) der Siebold-Stern- (oder Lux-Stern)-Zement (DRP. 142272), eine Abart des Stern-Zementes, durch den Zusatz besonderer, wasserabweisender Stoffe ausgezeichnet, welche den aus dem Ofen kommenden Zementklinkern beigemischt werden. Der sehr fein gemahlene Lux-Zement hat eine sehr bedeutende Wasserdichtheit, selbst magerer Zementmörtel, zur Folge, was deshalb von besonderer Bedeutung ist, da gerade solche Mörtel elastischer (und billiger) sind als fettere.

ausgesetzt. Die Temperatur wird auf dieser Höhe 2—3 Stunden, für alle Fälle aber ½ Stunde über den Zeitpunkt hinaus gehalten, bei dem ein sichtbares Entweichen des Wasserdampfes aus dem Kuchen aufgehört hat.

Zeigt der Kuchen nach dieser Behandlung Verkrümmungen, oder mit diesen verbundene, gegen die Ränder sich erweiternde Risse von radialer Richtung, so ist der betreffende Zement als an der Luft nicht volumenbeständig anzusehen. Da ein zu hoher Gipsgehalt hierbei kein Treiben verursacht, ist die Kuchenprobe als Ergänzung verlangt.

[1]) In der Schweiz sind einheitliche Bestimmungen für die Lieferung und Prüfung hydraulischer Bindemittel erlassen, welche u. a. auch für Schlackenzemente gelten.

[2]) Als ein eigenartiger, in der Praxis — wenigstens im Großen — bisher aber wohl noch nicht verwendeter Mischzement sei der Erzzement der Firma Fr. Krupp-Grusonwerk in Magdeburg-Buckau erwähnt (D.R.P. 143604 v. J. 1901). Dieser Zement soll dem Meerwasser vollkommen widerstehen und zwar durch den Ersatz der Tonerde im sonst normalen Portlandzement durch Eisenoxyde und andere Oxyde. Zur Gewinnung des Erzzementes sollen kieselsäurehaltiger Kalkstein (bzw. Kalkstein mit auf geschlossener Kieselsäure) mit Brauneisenstein, Rasenerz und dergleichen oder mit Chromerzrückständen in geeignetem Verhältnis vermahlen werden. Die Mischung wird bis zur Sinterung gebrannt und zu einem feinen braunen Pulver vermahlen.

c) Vermischungen von Portlandzementen mit Hochofenschlacke, Romanzementpulver, gemahlenem Tonschiefer, hydraulischem Kalk, Gips usw., auch Farbstoffen der verschiedensten Art. Sobald nicht die Güte des Zementes hierdurch verbessert oder dieser für bestimmte Zwecke besonders geeignet gemacht wird, sind derartige Mischzemente mit großer Vorsicht zu benutzen, da durch viele solche Zusätze die Zug- und Druckfestigkeit, die Härte, die Frostbeständigkeit, die Volumenbeständigkeit usf. abnehmen und auch in manchen Fällen die Grenze schwer zu ziehen ist, von der an derartige — namentlich indifferente — Zusätze aus unlauteren Gründen zugefügt werden. Eine Kontrolle solcher Mischzemente ist alsdann besonders schwierig, wenn sie als fertige Trockenmörtel, d. h. aus Zement, Zusatz und Sand fertig gemengt in den Handel kommen, und nur noch mit Wasser angemacht zu werden brauchen, um einen sofort verwendungsfähigen Mörtel zu liefern. Daß solche Zusätze, wenn sie unter 3 v. H. des Gesamtgewichtes bleiben, keine besondere Erwähnung verlangen, also auch den Portlandzement nicht in einen Mischzement umwandeln, ist durch die Lieferungs- und Prüfungsnormen für Portlandzement festgelegt[1]).

§ 98. Hydraulische Zuschläge.

Unter hydraulischen Zuschlägen sind solche von der Natur gelieferte oder künstlich hergestellte erdige Stoffe zu verstehen, deren Beifügung zum Luftmörtel diesen hydraulisch macht, ihn also befähigt, unter Wasser abzubinden. In Frage kommen hier in erster Linie Naturprodukte, namentlich für deutsche Verhältnisse der **Traß**[2]), daneben als ausländische Stoffe die Puzzolanerde und die Santorinerde, während die Kunsterzeugnisse, feingemahlene Hochofenschlacke, Ziegelmehl u. dgl. eine nur ganz untergeordnete Bedeutung zur Umwandlung von Luftmörtel in Wassermörtel besitzen[3]). Wie die hydraulischen Mörtel überhaupt, so können auch Mörtel mit hydraulischen Zuschlägen als Luftmörtel Verwendung finden, wenn die zu ihrer Erhärtung notwendigen Faktoren vorhanden sind.

Der für Hoch- und Ingenieurbauten gleich wertvolle **Traß** — ein Tuffgestein trachytischer Art[4]) — findet sich vornehmlich in der Vordereifel, in den vulkanischen Gebieten nahe des Laacher-Sees, und zwar im Nette-[5]) und Brohltale. Während das gute Traß- „Tuff"-Gestein im letzteren Tale fast ausgebeutet ist, und sich hier vorwiegend nur noch ein weniger guter „Bergtraß" findet, besitzt das Nettetal noch mächtige,

1) Vergl. S. 622.

2) Das Wort „Traß" scheint eine Umbildung von Terra zu sein.

3) Eine weniger gebräuchliche Bezeichnung bildet die Unterscheidnng in natürliche und künstliche „Puzzolane".

4) Als Normalanalyse des Trasses gibt Dr. Ing. h. c. Hambloch in seinem Werke: Der Traß (1909 Julius Springer) die folgende Zusammensetzung an: SiO_2 ca. 58, Al_2O_3 15, Fe_2O_3 3, FeO 1, CaO 2, MgO 1,4, TiO_2 0,5, K_2O 4,5, Na_2O 7.8 v. H. + Wasser. Vollständig verschieden vom Traß sind die ebenfalls in der vulkanischen Eifel sich neben ihm findenden Leucit-Phonolith-Tuffe. Mit dem Traß, in dem Leucit vollkommen fehlt, haben sie nur die Tuffstruktur gemeinsam; sie sind zur Mörtelherstellung durchaus ungeeignet und finden vorwiegend zu Hochbauten und bildhauerischen Arbeiten Verwendung, zu letzteren wegen ihrer hervorragend guten Bearbeitungsmöglichkeit (vgl. weiter die Abhandlungen von Dr. Hambloch, Der Leucit-Tuff von Bell, 1904).

5) Hauptfundorte sind die Dörfer: Plaidt, Kretz, Kruft. Ein weiteres Vorkommen in Deutschland ist im Kesseltal im bayerischen Ries.

wenn auch auf wenige Stellen beschränkte Lager erstklassiger Beschaffenheit. Nach der jetzt von den Geologen geteilten Ansicht, ist der Traß wahrscheinlich das Produkt vulkanischer Aschen, welche, aus der Luft niedergeschlagen, sich mit Hilfe des Wassers abgesetzt und zum Tuffgestein verfestigt haben[1]). Daß man bei letzterem 3 verschiedene Farben, je nach der Tiefe der Schichtung, gelb, grau, blau, unterscheidet und daß das am tiefsten liegende Material, der blaue Traß, das beste ist, wurde schon auf S. 52 hervorgehoben.

Die Verwendung von Traß zu Mörtel reicht in lang vergangene Zeiten zurück; schon die Römer erkannten auf ihrem Vordringen nach Deutschland in den ersten Jahrhunderten der christlichen Zeitrechnung in dem Traß ein Produkt, welches der im eigenen Lande zu größeren Wasserbauten verwendeten Puzzolanerde durchaus ebenbürtig war und verwendeten ihn zu ausgedehnten Bauten in der Rheingegend[2]). Neben Resten von diesen beweisen dies auch ihre Arbeiten in den Tuffsteingruben selbst, bei denen sie allerdings — wie durchaus erklärlich — den Traß nur bis zur Grundwasserlinie auszubeuten verstanden. In den kommenden Jahrhunderten ließ die Benutzung von Traß zum Mörtel sehr erheblich nach, wenn er auch zu größeren Bauten, namentlich Kirchen, hin und wieder herangezogen wurde. Hierin Wandel zu schaffen, war den Holländern vorbehalten, welche — namentlich an der See — vom 17. Jahrhundert an viel Traß verwendeten und auch im Jahre 1682 in Brohl am Rhein die erste Traßmühle errichteten. Dem Traß seine heutige hervorragende Stellung im Bauwesen eingeräumt zu haben, ist das Verdienst von weiland Prof. Intze-Aachen und Dr. Ing. h. c. A. Hambloch-Andernach, von denen der erstere dem Traß durch Verwendung bei seinen ausgedehnten Talsperrenbauten die ihm zukommende Stellung zuwies, während Dr. Hambloch durch seine weitschauenden und erfolgreichen, chemisch-geologischen Untersuchungen, die mechanisch-technische Prüfung der Trasse und die ihr folgende glückliche Übertragung in die Praxis die neuzeitliche Stellung des Trasses in der Mörtelverwendung begründete und neben Verbesserungen der Kalk-Traßmörtel, auf die Einführung der wertvollen Zement-Traß- und Kalk-Zement-Traßmörtel, namentlich zugunsten ihrer Verwendung im Seebau, erfolgreichst hinwirkte[3]).

Als Vorzüge des Traßmörtels kommen in Frage: seine Wohlfeilheit, seine große Dichtheit und vollkomene Volumenbeständigkeit, seine noch nach längerer Zeit verbleibende, bedeutende Elastizität, die größere Geschmeidigkeit des Mörtels, vielfach größere Festigkeit dieses nach der Erhärtung, überhaupt bessere Erhärtung in starken Mauern, endlich die Bindung freien Kalkes durch seine Kieselsäure, von höchster Bedeutung namentlich für die Erhärtung und den Bestand von Zement-Traß und Zement-

[1]) Die vulkanischen Traß-Aschen, welche infolge Mangels an ausreichender Wassermenge sich nicht zu Stein verfestigt haben, überlagern den Tuffstein als trockene und lose Erdmassen, wilder Traß oder Bergtraß. Daß die obige Entstehungserklärung des Trasses viel Wahrscheinlichkeit hat, geht u. a. daraus hervor, daß im Traß sich nicht selten Baumstämme und Pflanzenteile finden, die bei einem flüssigen Hervorbrechen des Trasses verbrannt sein müßten.

[2]) Vergl. hierzu auch: H. Burchartz, Traßmörtel. Berlin 1908. Julius Springer; sowie die Abhandlung von P. Wagner in der Deutschen Techniker-Zeitung 1907. Nr. 26.

[3]) Die hauptsächlichsten und grundlegenden Arbeiten von Dr. Hambloch sind:

Die rheinische Puzzolane, der Traß, ein Beitrag zur Lösung der Frage über das Wesen der Puzzolane und ihr Erhärtungsvorgang mit Kalk, Denkschrift, gewidmet dem Deutschen Museum zu München, 1908 in zweiter Auflage (als Auszug) erschienen 1912 bei Siegismund u. Volkening, Leipzig. Die bedeutendsten Mörtelbildner in Deutschland, 1911. Der Traß, seine Entstehung, Gewinnung und Bedeutung im Dienste der Technik, Vortrag gehalten im Mittelrheinischen Bezirksverein des Vereins Deutscher Ingenieure am 2. II. 1909. Zeitschr. d. V. D. Ing. 1909. S. 663, auch als Sonderabdruck erschienen bei Julius Springer, Berlin 1909. Ist Diatomeenerde eine Puzzolane? Arm.-Bet. Nov. 1912.

Kalk-Traßmörtel im Seewasser. Daneben besitzt Traßmörtel die Fähigkeit, ohne Rücksicht auf die bereits fortgeschrittene Erhärtung eines älteren Mauer- oder Betonkörpers sich mit neuen darauf folgenden Schichten[1]) in vollkommener Weise zu verbinden. Traß wird zurzeit in offenen Gruben im Tagebau unter Wasserhaltung gewonnen; da er demgemäß von Natur aus stets im Wasser sich befindet, schadet auch dem Stücktraß Wasser nichts; derartige Steinstücke können mithin auf offenen Wagen ohne Abdeckung transportiert werden; ihre Vermahlung bis zur Mehlfeinheit erfolgt alsdann erst auf der Baustelle. In der Regel aber wird, bedingt durch wirtschaftliche Gründe, Raum- und Gewichtsersparnis beim Transport und die größere Güte der Mahlung, der Traß, bereits zur Mehlfeinheit gemahlen, in Säcken geliefert. Hierbei ist auch der Umstand zu berücksichtigen, daß das Tuffgestein stark hygroskopisch ist und eine geringe Feuchtigkeit in der Luft schon ausreicht, das Mahlgeschäft, welches sich nur bei vollkommen trockenem Material ohne Schwierigkeit vollzieht, zu erschweren und die Leistung einer Mühle stark herabzusetzen[2]). Deshalb werden auch die Tuffsteine vor ihrem Vermahlen im Bruch bestens getrocknet, z. T. unter Verwendung großer geschützter Lagerräume. Das Liter-(Raum-)Gewicht des gemahlenen Trasses beträgt lose eingerüttelt etwa 0,94 kg, festgestampft etwa 1,2 kg. Bei der Sackpackung kann man rechnen, daß 100 l rd. 100 kg wiegen. Das spezifische Gewicht des grauen Pulvers liegt zwischen 2,2 und 2,3, während der Tuffstein selbst nur ein Raumgewicht von 1,2—1,3 zeigt.

Die chemische Einwirkung des Trasses bei der Erhärtung des Mörtels beruht vorwiegend auf einer Bildung von Hydro-Silikaten, indem sich die lösliche Kieselsäure unter Zutritt von Wasser mit Tonerde, Kalk und den Alkalien zu Verbindungen vereinigt, die mit den in der Naturvorkommenden Zeolithen vergleichbar sind[3]). Dieser Prozeß vollzieht sich bei Zutritt von Luft im Erhärtungsanfang schneller als unter Wasser, schreitet später aber bei beiden in gleichem Maße fort und ist, soweit Kalkmörtel in Frage kommt, bei hydraulischen Kalken ein intensiverer als bei Fettkalken. Hierbei spielt der im Mörtel enthaltene Sand keinerlei chemische, sondern nur eine physikalische Rolle.

Von Traßmörteln sind, je nach den grundlegenden Stoffen 3 Arten zu unterscheiden: 1. Kalktraßmörtel, 2. Traß-Zementmörtel, 3. Traß-Zement-Kalkmörtel.

1. Bei der Bereitung von Kalktraßmörteln ist auf eine innige Mischung, sowie auf das günstige Verhältnis aller Komponenten zu achten. Traß ist hierbei in einer solchen Menge zu nehmen, daß kein überschüssiger Kalk verbleibt, demgemäß ist bei Fettkalk weniger Kalk zu nehmen als wie bei magerem Kalk; namentlich ist eine möglichst vollkommene Bindung von Kalk bei Seebauten von Bedeutung. Der Wasserzusatz ist in engen Grenzen zu halten, damit der Mörtel gerade plastisch „kegelrecht“ werde.

Wird zu Pulver gelöschter Kalk verwendet, so werden die Stoffe trocken miteinander aufs innigste vermengt und erst alsdann Wasser zugefügt. Bei Kalkteig ist ein besonders gutes, andauerndes Durcharbeiten notwendig, um ein jedes Kalkteilchen mit dem Traß in Verbindung zu bringen. Wenn auch fertig angemachter Traßkalkmörtel, in größeren Mengen angerührt, seine Bindekraft längere Zeit unverändert bei-

---

[1]) Vergl. Dr. Hambloch Versuche auf Adhäsionsfestigkeit zwischen älteren Traßmörteln verschiedenen Alters mit frischen Mörteln. 1909. Kommissionsverlag O. Weber. Leipzig.

[2]) Vergl. hierzu die Ausführungen in dem Werke von Fülscher, Der Bau des Kaiser Wilhelm Kanals, Abt. I. Verlag Ernst und Sohn, Berlin. 1898. S. 131 und 83.

[3]) Vergl. die Arbeit von Dr. Hambloch: Der Traß. 1908. Kommissionsverlag Otto Weber. Leipzig. S. 31 u. flgd.

behält — im Gegensatze zu dem schnell abbindenden Zementmörtel —, so empfiehlt sich doch seine Verwendung in frischem Zustande.

Übliche Mischungen des Kalktraßmörtels sind:

		Ausbeute	Notwendig für 1 cbm Mörtel			
			Traß	gelöscht. Kalk	Sand	Wasser
			l [1])	l	l	l
1	1½ RT. Traß + 1 RT. Kalkteig + 1¾ RT. Sand	2,92	500	340	560	140
2	1½ „ „ + 1 „ „ + 2 „ „	3,10	488	325	650	150
3	1 „ „ + 1 „ „ + 2 „ „	2,82	350	350	700	140
4	1 „ „ + 1 „ „ + 3 „ „	3,40	265	370	925	150

Mischung 1 ist für Talsperren von Intze eingeführt und wird heute noch vielfach innegehalten; Mischung 2 stellt einen guten dichten Traßmörtel für Wasserbauten aller Art dar; Mischung 3 und 4 dienen als verlängerter Traßmörtel für Bauausführungen über Wasser.

Der Mörtel ist sehr hydraulisch, erreicht schon nach kurzer Zeit ausreichende Festigkeit und ist billiger wie Zementmörtel.

Die Festigkeit des meistverwendeten Mörtels (1½ + 1 + 1¾) Nr. 1 kann

i. M. nach 6 Wochen / nach 18 Wochen auf Zug zu { 15,0 kg/qcm; / 21,5 „ } auf Druck zu 98 kg/qcm / 180 „

gerechnet werden. Als Verhältnis beider Festigkeiten kann $\frac{k_z}{k_d} = 1/6$ eingeführt werden.

Nach Burchartz ergeben sich nach 12 Wochen für diesen Mörtel Zugfestigkeiten von 25—33 kg/qcm und Druckfestigkeiten von 133—185 kg/qcm.

Von Dr. Hambloch wurden für Traßkalkmörtel, hergestellt mit Kalkpulver (von der Lahn) und normalkörnigem Rheinsande, die folgenden Festigkeiten gefunden (Normenprobe):

Mischung:	Druckfestigkeit in kg/qcm nach 28 Tagen	1 Jahr	2 Jahren
1 : 1 : 1	104	138,5	158,0
1 : 1½ : 2	99,5	157,0	194,0
1 : 2 : 3	75,0	128,0	146,0
1½ : 1½ : 2	120,0	190,0	221,0

Aus den Versuchen zeigt sich, daß bei den reinen Traßkalkmörteln durchaus nicht die fetteste — sonst beste — Mischung die höchsten Druckfestigkeiten liefert; es erklärt sich dies in der größeren Eigenfestigkeit der sandreichen Mischungen. Bezüglich der Zugfestigkeit zeigt sich jedoch, daß der fetteren Mischung auch der größere Widerstand entspricht.

Aus einer weiteren Reihe von Dr. Hamblochs Versuchen mit Fettkalkteig (gewonnen aus dem Marmorkalk von der Lahn) ergeben sich für eine Mischung von 1½ RT. Traß : 1¼ Kalkteig : 2 Normensand die nachfolgenden Druck- und Zugfestigkeiten:

[1]) 100 l Traß wiegen rd. 100 kg. Vgl. S. 694.

Alter der Versuchskörper:

	28 Tage	60 Tage	90 Tage	180 Tage	1 Jahr	2 Jahre	
Druckfestigkeit:	110,0	145,0	180,0	245,0	290,0	350,0	kg/qcm
Zugfestigkeit:	20,5	24,0	26,5	28,0	34,00	37,5	kg/qcm

Die Mörtel werden unter Wasser fester als an der Luft[1]; sie eignen sich besonders für Bauten, bei denen es sich um große Mauermassen handelt, da sie, wie vorerwähnt die Fähigkeit haben, längere Zeit elastisch zu bleiben als reiner Zementmörtel. Ihre Dichtigkeit ist sehr groß, bei den meistverwendeten Mischungen zwischen 3 und 4 schwankend, stets aber > 1.

2. Durch Zusatz von Traß zum Zementmörtel wird ein noch festerer Mörtel, als es der Kalktraßmörtel ist, erzeugt. Nach Untersuchungen von Hambloch[2]), sollte hier der Traßzusatz nicht höher genommen werden, als 0,7 RT. auf 1 RT. Zement, da eine solche Mischung die besten Ergebnisse gezeitigt hat. Zement und Traß sind hierbei trocken zu vermengen.

Verwendet wird in der Regel:

1. im Hafenbau: 1 Zement + ($^3/_4$)—1 Traß + 4—5 Sand + 1,20 Wassser = rd. 4,86 Mörtel;

2. für Schleusenbauten u. dgl.: 1 Zement + ($^3/_4$)—1 Traß + $2^1/_2$—4 Sand + 1,0 bis 1,20 Wasser = 3,34—4,56 Mörtel.

Dichtigkeit > 1.

Auf 1 cbm Mörtel sind zu rechnen rd. bei:

Mischung 1	240 l	Zement	+	240 l	Traß	+	960 l	Sand	+	290 l	Wasser,
	205 l	„	+	205 l	„	+	1030 l	„	+	290 l	„
„ 2	320 l	„	+	320 l	„	+	800 l	„	+	290 l	„
	240 l	„	+	240 l	„	+	960 l	„	+	290 l	„

Durch Traßbeimengung wird der Zementmörtel geschmeidiger, dichter, meist auch billiger; auch nimmt — wie vorerwähnt — seine Widerstandskraft gegenüber den schädlichen Einwirkungen des Seewassers, daneben vielfach auch seine Druck- und Zugfestigkeit zu. Erstere Erscheinung hat darin ihren Grund, wie Versuche von Dr. Michaëlis und Dr. Hambloch erwiesen haben, daß alle Portlandzemente bei ihrem Erhärtungsprozesse im Mörtel überschüssigen, freien, d. h. nicht an Silikate gebundenen Kalk, und zwar als Ätzkalk in kristallinischer Form ausscheiden, der dann vom Seewasser angegriffen wird und somit eine Zerstörung des Mauerwerkes oder des Betons in kürzerer oder längerer Zeit befürchten läßt. Hiergegen wirkt der Traß in hohem Grade günstig, indem seine Kieselsäure diesen freien Kalk chemisch bindet. Dies günstige Ergebnis haben auch die auf S. 638 bereits erwähnten Versuche bestätigt, welche seit Jahren auf der Insel Sylt im Gange sind.

Nach Lichterfelder Versuchen haben Traßzementmörtel allerdings mit hohem Sandzusatze die nachfolgenden Festigkeiten gezeigt[3]):

---

[1]) Bei Lufterhärtung wirkt ein geringer Gehalt an Portlandzement günstig.

[2]) Der Traß, seine Entstehung, Gewinnung und Bedeutung im Dienste der Technik, von A. Hambloch, Berlin, Julius Springer 1909, und weitere Arbeiten dieses Verfassers. Vgl. S. 693.

[3]) Vgl. hierzu: Traßmörtel von H. Burchartz, Berlin. 1908. (Julius Springer, Berlin.)

Mischung Raum-Teile	Zugfestigkeit in kg/qcm nach Tagen 14	28	90	Druckfestigkeit in kg/qcm nach Tagen 14	28	90	Verhältnis $\frac{\text{Zug}}{\text{Druck}}$ nach Tagen 14	28	90	
1 Z. + 0,75 T. + 5 Sand	19,1	23,1	31,2	153	198	280	$\frac{1}{8,0}$	$\frac{1}{8,6}$	$\frac{1}{9,0}$	Erhärtung $2^1/_2$ Tage in feuchtgehaltenen Kästen, alsdann unter Wasser von rd. 16° C.
1 „ + 1,0 „ + 6 „	12,9	17,9	27,2	98	132	210	$\frac{1}{7,6}$	$\frac{1}{7,4}$	$\frac{1}{7,7}$	
1 „ + 0,8 „ + 6 „	13,0	18,4	23,5	108	143	193	$\frac{1}{8,3}$	$\frac{1}{7,8}$	$\frac{1}{8,2}$	

Es kann mithin das Verhältnis der Zug- zur Druckfestigkeit zu rd. $^1/_{10}$—$^1/_8$ angenommen werden.

Inwieweit ein geeigneter Traßzusatz den Zementmörtel in bezug auf seine Festigkeit zu verbessern vermag, lassen die nachfolgenden Versuche von Dr. Hambloch deutlich erkennen:

Mischung:	Druckfestigkeit nach 28 Tagen	Druckfestigkeit nach 2 Jahren	Zugfestigkeit nach 28 Tagen	Zugfestigkeit nach 2 Jahren	
1 Zem : 3 normalkörniger Rheinsand	265	401	27,8	38,0	kg/qcm
1 „ : $^1/_3$ Traß : 3 „ „	309	465	33,5	40,1	
1 „ : $^1/_2$ „ : 3 „ „	359	540	36,1	42,4	
1 „ : $^3/_4$ „ : 3 „ „	328	519	35,8	47,4	
1 : 1 : 4 „ „	290	510	29,5	51,0	

Für Eisenbetonbauten an der See empfiehlt Dr. Hambloch Mischungen:

a) von 3 RT. Zem. : $1^1/_2$ RT. Traß : 4 RT. Sand bzw.

b) 2 : 1 : 4 in obiger Reihenfolge.

Bei Beton kann ein Zusatz bis zu 7 Teilen Kies bzw. Schotter zu diesen Mischungen erfolgen.

Die Festigkeiten sind bestimmt — Mischung a (3 : $1^1/_2$: 4) — zu:

Alter der Proben:	3 Tage	7 Tage	28 Tage	90 Tage	
Zugfestigkeit:	21,1	30,5	37,6	50,7	kg/qcm
Alter der Proben:	14 Tage	28 Tage	90 Tage		
Druckfestigkeit:	281	318	355		kg/qcm
Biegefestigkeit:	50,8	57,1	69,3		kg/qcm

Mischung b (2 : 1 : 4)

Alter der Proben:	3 Tage	7 Tage	28 Tage	90 Tage	
Zugfestigkeit:	20,3	29,6	34,7	42,8	kg/qcm
Alter der Proben:	14 Tage	28 Tage	90 Tage		
Druckfestigkeit:	27,9	307	325		kg/qcm
Biegefestigkeit:	45,8	53,3	62,8		kg/qcm

Traß-Zementmörtel werden sich vorwiegend für Bauwerke empfehlen, bei denen es auf eine schnelle Erhärtung, hohe Anfangsfestigkeit, aber nicht allzu große Dichtigkeit und hohe Elastizität ankommt.

3. Als Traß-Zementkalkmörtel empfiehlt Dr. Hambloch eine Mischung von $1^1/_2$ RT. Traß, 1 RT. Zement, $^2/_3$ RT. Kalk und 4 RT. Sand.

Die Festigkeit dieses Mörtels zeigt die nachstehende Zusammenstellung:

	Alter der Versuchskörper:						
	28 Tage	60 Tage	90 Tage	180 Tage	1 Jahr	2 Jahre	
Druckfestigkeit:	240	295	355	440	515	620	kg/qcm
Zugfestigkeit:	32,0	36,5	41,0	45,0	51,0	58,0	kg/qcm

Verhältnis beider Festigkeiten nach 2 Jahren 1 : 10,7. Der ausgezeichnete Mörtel ist dort zu verwenden, wo es auf hohe Dichtigkeit, größere Elastizität, und außergewöhnliche Festigkeit ankommt, namentlich bei Seebauten, bei denen durch die Einwirkung von Ebbe und Flut Ausspülungen des Mörtels zu befürchten sind. Der Zusatz von $^2/_3$ RT. Kalk hat hier durchaus keine schädliche Wirkung gegenüber dem Seewasser, weil derselbe hinreichend von dem zugesetzten Trasse, der zudem noch den überschüssigen Kalk im Zement festhält, gebunden wird.

Zu Traßbeton findet im Süßwasser eine Mischung aus Traß, Wasserkalk, Sand und Kies, und zwar im Verhältnisse von 1 : 1 : 1 bis 1 1/2 : 4 bis 5 statt, je nach der Beanspruchung und Mächtigkeit des Baues, während für Seebauten Traßzement — und Traßkalkzementbeton eingeführt und bestens bewährt sind. Für erstere sind Mischungen empfohlen von:

1. 0,8 Traß + 1 Zement + 4 Sand + 7 Kies,
2. 0,8 „ + 1 „ + 6 „ + 12 „ .

Die Druckwürfelfestigkeiten beider Mischungen sind nach:

	14 Tg.	28 Tg.	90 Tg.	
1.	89	119	162	kg/qcm.
2.	46	54	82	kg/qcm.

Für Traßkalkzementbeton empfiehlt Dr. Hambloch Mischungen bei Betonbauten an der See von:

a) unter Wasser geschüttet:

2 RT. Traß + 1 RT. Kalkteig + 2 RT. Zement + 6 RT. Sand + 11,5 RT. Kies = 0,467 Mörtel + 0,785 Kies.

b) im Trockenen gestampft:

1 1/2 RT. Traß + 0,75 RT. Kalkteig + 1 RT. Zement + 4 RT. Sand + 11,5 RT. Kies = = 0,4 Mörtel + 0,92 Kies[1]).

Nach Burchartz beträgt die Druckfestigkeit eines Traßkalkzementbetons von der Mischung in RT. von:

1 T. + 1 Z. + 1/2 Kalkteig + 5 Sa. + 10 Kies } nach 14, 28, 90 Tagen, 77, 107, 144 kg/qcm.

Die Verwendung des Traßmörtels ist, wie aus den vorstehenden Darlegungen ersichtlich, eine außerordentlich vielseitige. Über die in den einzelnen Fällen zweckmäßigen Mischungen gibt die nachfolgende Tabelle, welche z. T. schon vorstehend erwähnte Mischungen enthält, Auskunft.

---

[1]) Vgl. auch die insbesondere für Eisenbetonbauten an der See von Dr. Hambloch empfohlenen Mörtel- bzw. Traß-Mischungen auf S. 697. Diese beiden Mischungen widerstanden dem Wasserdruck von 5,4 Atm. während 24stündigen Einwirkungen vollständig. Die Mörtel sind also als durchaus dicht erwiesen.

Zusammenstellung
erprobter Mischungsverhältnisse von Traßkalk-, Traßkalk-Zementmörteln und Traß-Zementmörteln und Betonen.

(Von Dr. A. Hambloch, Andernach a. Rh.)

Verwendungszweck	Mischungsverhältnisse Raumteile					Bemerkungen
	Traß	Zement	Kalkteig	Sand	Kies	
Hafenbauten	3/4 b s 1	1	—	4 bis 5	—	Der Kies- oder Schotterzusatz schwankt bei reinen Traßmörteln und Traß-Zementmörteln zwischen 4 bis 10 Raumteilen und richtet sich je nach den Erfordernissen, Dichtigkeit, Druckfestigkeit usw.
Schleusen- und Kaibauten	3/4 bis 1	1	—	2 1/2 bis 4	—	
Kanalbauten	1	2/3 bis 1	—	4 bis 5	—	
Allgemeine Bauten unter Wasser, z. B. Docks	1	—	2/3 bis 1	1 bis 1 1/4	—	bei Fettkalkpulver: 1 bis 1 1/2
Allgemeine Bauten im und über Wasser z. B. Talsperren	1 1/4 bis 1 1/2	—	1—1 1/4	1 1/2 bis 2 1/2	—	bei Fettkalkpulver: 1 1/2 bis 3/4
Trockenmauerwerk	1	—	2	3 bis 5	—	bei Fettkalkpulver: 3
Verputzarbeiten außen [1])	1 1/4	—	1	2 1/2 bis 3 1/2	—	bei Fettkalkpulver: 1 1/2
Beton unter Wasser (Seebau)	2	2	1	6	11 1/2	0,467 Mörtel auf 0,785 Kies
Beton über Wasser (Seebau)	1 1/2	1	3/4	4	11 1/2	0,40 Mörtel auf 0,920 Kies
Eisenbeton (Seebau)	1 1/2—1	3—2	—	4	bis 7	0,38 bzw. 0,275 Mörtel auf 0,431 bzw. 0,368 Kies
Eisenbeton über Wasser	1/2	1	—	2 1/2	6	0,400 Mörtel auf 0,920 Kies
Eisenbetonpfähle	1/2	1	—	3	4	0,467 Mörtel auf 0,735 Kies

Für die Prüfung von Traß auf seinen mörteltechnischen Wert sind durch Beschluß des Deutschen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik in der 4. Versammlung zu Rüdesheim (vom 29. IX. 1900) Normen für die Prüfung von Traß angenommen worden, durch deren Einführung die bisher auf diesem Gebiete bestandene Unsicherheit beseitigt ist. Diese Normen sind durch weitere Beschlüsse vom Jahre 1908 (Versammlung in Darmstadt) ergänzt und erweitert worden. Ihre hauptsächlichsten Bestimmungen sind: Das Gestein, welches zur Vermahlung kommt, besteht etwa zur Hälfte aus hellem, zu 1/4 aus grauem und 1/4 aus blauem Traß. Guter Traß soll mindestens 7% Glühverlust (Hydratwasser, chemisch gebundenes Wasser) ergeben. Für die Prüfung auf Mehlfeinheit sind die für die Zementprüfung üblichen Siebe zu verwenden von 144, 900 und 5000 Maschen auf 1 qcm. Für die Siebung sind je 100 g bei 98—100° C getrocknetes Pulver zu benutzen und zwar soll die Siebung auf dem feinsten Siebe beginnen. Traß soll auf dem 900 Maschensieb nicht mehr als 20% Rückstand aufweisen.

[1]) Für Innenputz können fettere Mischungen gewählt werden; bei gleichem Traß- und Kalkzusatze etwa 1 1/2—2 1/2 Sand.

Die Prüfung auf Festigkeit soll in einer Mischung von Sand und Kalk erfolgen, und zwar sollen für die Zugprobe Achterkörper mit 5 qcm Zerreißfläche und für die Druckprobe Würfel von 50 qcm Grundfläche Verwendung finden.

Die Mörtelkörper aus 1 RT. Traß, 1 RT. Kalkteig (Normenkalk) und 1 RT. Normalsand sollen nach 28 Tagen Erhärtung — 3 Tage in feuchter Luft von 18—20° C, 25 Tage unter Wasser von gleicher Temperatur — mindestens 14 kg/qcm Zugfestigkeit und 70 kg/qcm Druckfestigkeit aufweisen. Die Mischung der Proben ist im Kollergange vorzunehmen und zwar zunächst Kalkteig und Traß und daraufhin das Gemisch beider mit Sand. Die Festigung der Proben in ihrer Form hat durch 150 Schläge des Böhmeschen Normalhammerapparates zu erfolgen. Die Körper werden mit der Form auf Glasplatten in feucht gehaltene, gedeckte Kästen gebracht und die Zugproben nach etwa $^1/_2$, die Druckproben nach 2 Stunden ausgeformt. Zur Gewinnung wahrscheinlicher Mittelwerte sind von jeder Mischung mindestens 10 Zug- und 5 Druckproben zu prüfen.

Eine eigenartige Verwendung von Traß im Baufache ist seine Benutzung bei Erzeugung einer staubfreien Straßenbefestigung, und zwar das Pyknoton-Verfahren[1]).

Im allgemeinen stellt dies Verfahren eine Verbesserung des Nassauer Teerschotterverfahrens dar, welches nicht unerhebliche Anforderungen an gut geschulte Arbeitskräfte stellt und eine sehr peinlich genaue Ausführung verlangt, auch in seinem Gelingen von dem jeweiligen Wetter abhängen kann. Die Neuheit des Pyknoton-Verfahrens (DRP.) beruht in der Anwendung von Traß in Verbindung mit Löschkalk und Ätzkalk als Einbau-, Befestigungs- und Dichtungsmittel des Teerschotters.

Die Vereinigung der drei Stoffe: Traß, Löschkalk, Ätzkalk bietet für die vorliegenden Zwecke einen ausgezeichneten Stoff, da der Erhärtungsprozeß ein zwar langsamer, aber in hohem Grade vollständiger ist; von besonderem Einfluß ist hierbei der doppelte Charakter des Kalkes, da die bei Vereinigung beider Agenzien auftretende erhebliche Wärme bei Hinzutritt von Wasser (bzw. Feuchtigkeit) eine hervorragend gute Aufschließung der Kieselsäure im Gefolge hat und somit eine besonders gute Verfestigung des Traßkalkgemisches sichert. In dieser Beziehung zeigten Versuche, daß gegenüber Probekörpern, welche aus Traß und Kalkhydrat hergestellt wurden, solche unter Hinzufügung von Ätzkalk drei- bis fünfmal so große Festigkeit und Härte aufwiesen. Auch zeigte es sich, daß nicht — wie bei Baumörtel — hier nur die guten und teuren Traßarten Verwendung finden können, sondern daß sich für den vorliegenden Zweck durchaus ausreichende Festigkeits- usw. Ergebnisse unter Verwendung des sonst fast nur eine Abraummasse darstellenden Bergtrasses erzielen lassen. Es hat dies seinen Grund einerseits in der hier besonders ausgeprägten Aufschließung des Trasses, anderseits darin, daß bei der Beschotterung lange nicht die Anfangsfestigkeiten und die hohen Sicherheiten erforderlich sind wie bei einem Baumörtel.

Das Einbauverfahren der Pyknotonmethode besteht in folgendem:

Zunächst wird zur Innenbindung des Straßenkörpers eine pulverisierte, trockene Mischung von „Tuffasche“, Ätzkalk und Kalkhydrat (Pyknoton I) in einem dem Teerpräparate entsprechendem Verhältnisse den vorher getrockneten, gereinigten und entstaubten Steinsorten beigemengt, also noch bevor sie zur Teerung gelangen.

Eine weitere Innenbindung wird vorgenommen, nachdem die untere Lage der Decke eingebaut ist, indem diese mit dem vorbeschriebenen Pyknoton I vor dem Walzen gleichmäßig abgedeckt und hierauf

---

[1]) Von Baurat J. Henning in Oberlahnstein und A. Hambloch in Andernach; vergl. u. a. Arm. Beton. 1910. Nr. 9.

eingewalzt wird. Ist dann die Oberlage der Decke aufgetragen und fertig gewalzt, wird eine Lage trockenen, pulverisierten Gemisches von Traß, Ätzkalk und Kalkhydrat — genannt Pyknoton II — mit feinem, reinem Sande bis 1 mm Korngröße zu gleichen Teilen trocken gemischt., in dünner Lage trocken aufgestreut, genäßt und eingeschlämmt; alsdann folgt eine zweite Lage von Pyknoten II mit Sand, gleich der ersten behandelt und eingeschlämmt.

Sollte hierdurch die Oberfläche noch nicht dicht geworden sein, so kann noch eine dritte Streulage aufgebracht werden. Schließlich läßt man diese Decklagen etwas „anziehen" und glättet sie mit der Dampfwalze.

Ist das Wetter trocken, so ist die Pyknotondecke in den ersten Tagen durch Begießen feucht zu halten.

Die Decke ist sofort so fest gedichtet, daß unmittelbar nach ihrer Fertigstellung Fuhrwerke bis 4 t Ladegewicht sie befahren können; eine Störung des Abbindens der Innenbindung findet hierbei nicht statt. Bei einer, auf der Bezirksstraße in Nassau a. d. L. ausgeführten Strecke zeigte sich, daß die Pyknotonausbildung schon nach 5 Tagen imstande war, Einzellasten von 150 kg/qcm Druck ohne Überanstrengung aufzunehmen.

Da der Einbau — vorausgesetzt, daß das Pyknotonpulver trocken bleibt — unabhängig ist von der Witterung, ferner aller überflüssige Teer gebunden und somit an dem sonst lästigen Herausquellen verhindert wird, auch die bisher mit der Unterhaltung der Straßen gemachten Erfahrungen sehr gute sind, so ist zu erwarten, daß die neue Baumethode sich bald einer größeren Verbreitung erfreuen wird. In diesem Sinne anerkennend haben sich auch die Verhandlungen auf dem II. internationalen Straßenbaukongresse zu Brüssel im August 1910 ausgesprochen.

Anschließend sei auf den Ausblick hingewiesen, welchen überhaupt für das gesamte Gebiet der Mörteltechnik die hier durchgeführte Vereinigung von einem kieselsäurereichen natürlichen Bindemittel mit Ätzkalk und Kalkhydrat liefert.

Von ausländischen hydraulischen Zuschlägen seien hervorgehoben:

a) Die Puzzolanerde, ein vulkanischer, erdiger Tuff, der sich am Südabhange der Apenninen von Rom bis Neapel findet und in größeren Mengen namentlich bei Puzzuoli ansteht; ihre Farbe ist gelblich bis aschgrau, der Bruch körnig, die Struktur erdig, wodurch die leichte Zerreibbarkeit des Gesteins bedingt ist. Das heute nicht nur in Italien in größerer Menge, sondern auch in Frankreich und England benutzte Zuschlagsmaterial wurde schon zu Zeiten des alten Roms in ausgedehntem Maße zu Hoch- und Wasser-, auch Seebauten verwendet. Dies zeigt uns die von Vitruv in seinem Werke De Architectura im zweiten Buche gegebene in Anm. 2 S. 580 wiedergegebene Mitteilung.

Nach chemischen Analysen besteht die italienische Puzzolanerde aus etwa 45 v. H.-Kieselsäure, 15 v. H. Tonerde, 12 v. H. Eisenoxyd, 9 v. H. Kalk, 5 v. H. Magnesia usw.; ihr spezifisches Gewicht beträgt 2,4.

Wenig Anklang hat eine künstliche Puzzolanerde gefunden, hergestellt aus 1 Gew.-T. fettem Kalkbrei, 4 T. Ton und 1/4 T. Sand. Diese Masse wurde in Ziegeln geformt, getrocknet, gebrannt und alsdann fein gemahlen.

Die Verwendung der Puzzolanerde zu Mörtel und dessen Bereitung ist ähnlich wie beim Traß. Das Mischungsverhältnis wird meist so gewählt, daß die Zwischenräume des hydraulichen Zuschlages und Sandes möglichst vollkommen mit Kalkbrei ausgefüllt werden. Dies wird im allgemeinen erreicht bei Vermengung von 1 Gew.-T. Kalk auf 2 bis 3 T. Sand und 3 T. Puzzolanerde. Die Benutzung des Mörtels ist die gleiche wie bei Traß; auch hier spielt die Verwendung zu Wasserbauten eine große Rolle.

b) Die Santorinerde — gleich dem vorigen Zuschlag ein Erzeugnis vulkanischer Tätigkeit — findet sich auf den griechischen Inseln Santorino, Thirasia und Aspronisi; sie ist dem Traß sehr ähnlich, ihm gegenüber nur durch einen höheren Kieselsäuregehalt ausgezeichnet und eignet sich demgemäß namentlich zu Seebauten, jedoch nicht zu Bauten an der Luft, da der Mörtel durch Einwirkung der Sonnenbestrahlung mürbe und bröckelig wird. Ihre Hauptbestandteile sind: 69 v. H. Kieselsäure, 13 v. H. Ton-

erde, 2,4 v. H. Eisenoxyd usw. Die Mörtel werden meist aus $^3/_4$ T. Santorinerde und $^1/_4$ T. Kalkbrei, ohne besonderen Wasserzusatz, gemengt.

Von **künstlich** hergestellten hydraulischen Zuschlägen, die — wie eingangs bemerkt wurde — wenig allgemeine Bedeutung haben, seien kurz erwähnt:

a) Gebrannte und fein gemahlene Tonziegel; dem Kalkmörtel (1 : 2) zugesetzt wandelt dieses Steinmehl (1 Gew.-T.), den Luftmörtel in einen allerdings nur gering hydraulischen Mörtel um, der um so wirksamer beeinflußt wird, je härter gebrannt und je reicher an SiO_2 der Ziegelstein ist.

b) Hochofenschlacken von geeigneter Zusammensetzung, d. h. einem Gehalt von 50—60 % Kieselsäure und 15—20 % Tonerde; besonders günstig wird für die Zwecke der Mörtelbereitung eine Schlacke beeinflußt, wenn man sie „tempert", d. h. unter einer Kohlenlöschdecke langsam abkühlen läßt. Dem Kalkbrei zugesetzt, führen diese Schlacken zu sehr fest werdenden, drucksicheren Wassermörteln, die aber auch gut an der Luft erhärten.

c) Vollständig ausgebrannte Stein- oder Braunkohlenasche in gepulvertem Zustande.

d) Kieselsäurereiche Abfälle verschiedener chemischer Industrien, z. B. der Alaunindustrie (Si-Stoff).

Literatur-Nachweisung

zu Kapitel XXIX [1]).

Wegen den verwendeten Abkürzungen vgl. die Literatur-Nachweisungen zu den ersten Kapiteln.

§ 92.

Zeitschriften: Baumaterialienkunde. — Tonindustriezeitung. — Deutsche Bauzeitung. — Zentralblatt der Bauverwaltung. — Zeitschrift für Architektur- und Ingenieur-Wesen. — Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architektenvereins. — Österr. Monatsschrift für den öffentlichen Baudienst. — Schweizer Bauzeitung.

1. Kiepenheuer, Dr., L., Kalk und Mörtel. Köln. 1907. Selbstverlag.
2. Handbuch der Architektur. Teil I. Die Technik der wichtigeren Baustoffe. S. 135 u. ff.
3. Krüger, Baustofflehre. II. Teil. Hartlebens Verlag. 1899.
4. Glinzer, E., Baustoffkunde. Abschnitt II. Dresden. 1912. Verlag G. Kühtmann.
5. Nöthling, E., Die Baustofflehre. Leipzig. 1900. Verlag B. F. Voigt.
6. Gerhardt, E., Baustoffkunde, ein Handbuch für Studium und Praxis. Verlag. Otto Spamer. 1912. S. 83—87.
7. Rauter, Dr., G., Die Industrie der Silikate der künstlichen Bausteine und des Mörtels. Goeschens Verlag Leipzig. 1904. Teil II.
8. Tormin, A., Kalk, Zement und Gips. In 4. Auflage bearbeitet von E. Nöthling. Verlag Voigt. Leipzig. 1905.
9. Scheck, R., Verdingungsunterlagen für Ingenieurbauten. Verlag W. Engelmann. Leipzig. 1911.
10. Beutinger, E., Arbeitsverträge für das Baugewerbe. Verlag Alex. Koch. Darmstadt. 1907. S. 23—46 und 86.
11. Zulkowski, Karl, Zur Erhärtungstheorie des natürlichen und künstl. hydraul. Kalkes. Verlag Gärtner. Berlin. 1898.

[1]) Vergl. hierzu auch die vielen im Texte angegebenen einzelnen Literaturstellen.

§ 93.

Zeitschriften: Vergl. vorstehend unter § 92.

Dsgl. Werke allgemeiner Art über Baustoffe.

1. Moye, Dr., A., Die Gewinnung und die Verwendung des Gipses. Verlag W. Jaenecke. Hannover. 1908.
2. Heusinger v. Waldeck, E., Der Gips. Neubearbeitet in 2. Aufl. von Dr. A. Moye. Verlag Th. Thomas. Leipzig. 1906.
3. Das kleine Gipsbuch. Herausgegeben vom Verein der Gipsinteressenten.
4. Burchartz, H., Luftkalke und Luftmörtel. Ergebnisse von Versuchen, ausgeführt im Kgl. Materialprüfungsamt Groß-Lichterfelde-W. Verlag Julius Springer. Berlin. 1908.
5. Kiepenheuer, Dr, L, Kalk und Mörtel. Köln. 1907. Selbstverlag.
6. Derselbe, Wasserkalk. Bonn. 1911. S. 198ff.
7. Tormin, A., Kalk, Zement und Gips. In 4. Auflage bearbeitet von E. Nöthling. Verlag Voigt. Leipzig 1905.

§ 94.

Zeitschriften: Vergl. vorstehend unter § 92.

Dsgl. Werke allgemeiner Art über Baustoffe.

1. Kiepenheuer, Dr., L., Wasserkalk, eine gemeinfaßliche Monographie. Bonn. Karl Georgi, Universitätsbuchdruckerei und Verlag. 1911.
2. Zwick, Dr., H., Hydraulischer Kalk und Portlandzement. 3. Auflage v. Dr. A. Moye. Hartlebens Verlag. 1909.

§ 95.

1. Kiepenheuer, Dr., L., Wasserkalk. Bonn. 1911. S. 200 u. ff.
und die bei § 92 aufgeführten Zeitschriften und Werke allgemeiner Art über Baustoffe.

§ 96.

Zeitschriften: Vergl. unter § 92, zudem: Beton und Eisen. — Armierter Beton (namentlich dessen Literaturnachweise über das Material). — Deutsche Bauzeitung, Abteilung Zement usw. — Werke allgemeiner Art über Baustoffkunde (vergl. § 92).

1. Deutche Normen für Portlandzement. 1910. Verlag Tonindustrie-Zeitung.
2. Das kleine Zementbuch, herausgegeben vom Verein Deutscher Portland-Zement-Fabrikanten.
3. Protokolle der Hauptversammlungen des Vereins der Deutschen Portland-Zement-Fabrikanten.
4. Der Portlandzement und seine Anwendung im Bauwesen. Verfaßt im Auftrage des Vereins Deutscher Portland-Zement-Fabrikanten. 4. Auflage. 1912. Verlag Deutsche Bauzeitung. (Erstklassiges Handbuch.)
5. Ast, Feodor, Der Beton und seine Anwendung. Verlag Tonindustrie-Zeitung. 1907.
6. Handbuch für den Eisenbetonbau. 2. Auflage. II. Band. Verlag Ernst u. Sohn. Berlin.
7. Foerster, M., Material und statische Berechnung der Eisenbetonbauten. Verlag W. Engelmann. 1907.
8. Derselbe, Taschenbuch für Bauingenieure. Verlag W. Springer. 1911.
9. Derselbe, Geschichte des Eisenbetonbaues im Handbuch für Eisenbeton. I. Bd. 1. u. 2. Aufl. Berlin. Verlag Ernst u. Sohn. 1907 und 1912.
10. Quietmeyer, Fr., Zur Geschichte der Erfindung des Portlandzementes. Verlag Tonindustrie-Zeitung. 1912.
11. Zwick, Dr. H., Hydraulischer Kalk und Portlandzement. 3. Auflage von Dr. A. Moye. Hartlebens Verlag. 1909.
12. Schumann, Dr., Über Portlandzement u. Traßmörtel. Vortrag a. d. Hauptvers. d. Ver. Deutsch. Portland-Zement-Fabrikanten. 1909.
13. Einwirkung von Schwefelsäure auf Portland-Zement. Sonderabdruck a. d. Prot. d. Hauptvers. d. Vereins Deutscher Portland-Zement-Fabrikanten. 1911.
14. Arlt, R. v., Laboratoriumsbuch für die Zementindustrie. Verlag W. Knapp. Halle a. d. S. 1910.
15. Kiepenheuer, Dr., L., Wasserkalk. Bonn. 1911. S. 201 u. ff.
16. Desselben Werk, Kalk und Mörtel. Köln. 1907. S. 148 u. ff.
17. Safir, B., Beschaffenheit, zweckm. Mischungsverhältnisse und Ausbeute hydraul. Baustoffe. Berlin. Verlag Ernst und Sohn. 1909.

18. Castner, W., Der Zement und seine ration. Verwertung zu Bauzwecken. 3. Aufl. Karl Scholtze. 1900.
19. Rohland, Dr., P., Der Eisenbeton. Kolloid-chemische und physikalisch-chemische Untersuchungen. Verlag Otto Spamer. Leipzig. 1912.
20. Keisermann, Dr., S., Der Portlandzement, seine Hydratbildung u. Konstitution, Verlag Th. Steinkopf. Dresden. 1910.
21. Nitzsche, H., Materialbedarf und Dichtigkeit von Betonmischungen. Verlag W. Engelmann. 1907.
22. Bazali, M., Die Kalkulation und das Voranschlagen von Eisenbetonbauten. Verlag O. Streit. Glauchau. 1912.
23. Fresenius, W., Über den Nachweis fremder Zumischungen im Portlandzement. Deutscher Verlag. Berlin. 1904.
24. Germer, H., Mörteluntersuchungen. Verlag Tonindustrie-Zeitung. 1910. Text und Tafeln.
25. Schmidt, Dr., O., Der Portlandzement auf Grund chemisch-petrogr. Forschung. Verlag Konrad Wittwer. Stuttgart. 1906.
26. Bach, C. v., Mitteilungen über die Herstellung von Betonkörpern mit verschiedenem Wasserzusatze sowie über die Druckfestigkeit und Druckelastizität derselben. Teil I, II u. III. Stuttgart. A. Kröner.
27. Derselbe, Über die Elastizität des Zementmörtels. Z. d. V. D. Ing. 1895. S. 489. 1896. S. 381. 1897. S. 241. 1902. S. 25.

Veröffentlichungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton

(soweit sie für das vorliegende Werk Bedeutung haben).

Heft 1 bis 3. Bericht über die von der Materialprüfungsanstalt an der Königlichen Technischen Hochschule Stuttgart im Jahre 1908 durchgeführten Versuche mit Eisenbetonbalken namentlich zur Bestimmung des Gleitwiderstandes. Erstattet vom Vorstande der Anstalt C. Bach unter Mitwirkung von O. Graf. (Veröffentlicht in H. 72—74 der Mitteilungen über Forschungsarbeiten, herausgegeben vom Verein Deutscher Ingenieure.) 1909.

Heft 4. Fortsetzung von Heft 1 bis 3. (Veröffentlicht in Heft 95 der Mitteilungen über Forschungsarbeiten, herausgegeben vom Verein Deutscher Ingenieure.) 1910.

Heft 5. Versuche mit Eisenbetonsäulen Reihe I und II. Ausgeführt im Kgl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde-West. Bericht erstattet von Professor M. Rudeloff, Geh. Regierungsrat, Direktor im Kgl. Materialprüfungsamt. 1910.

Heft 6. Versuche über den elektrischen Widerstand von unbewehrtem Beton. Ausgeführt in der Großh. Materialprüfungsanstalt an der Techn. Hochschule zu Darmstadt in den Jahren 1908 und 1909. Bericht erstattet von Professor O. Berndt, Geh. Baurat, Professor Dr. Wirtz, Geh. Hofrat, unter Mitwirkung von Dr.-Ing. W. Müller. 1911.

Heft 7. Versuche mit Eisenbetonbalken zur Bestimmung des Gleitwiderstandes. Ausgeführt in der Königl. Sächsischen Mechanisch-Technischen Versuchsanstalt in Dresden im Jahre 1908. Bericht erstattet von Professor H. Scheit, Geh. Hofrat, Direktor der Königl. Sächsischen Techn. Versuchsanstalt unter Mitwirkung von Privatdozent O. Wawrziniok, Adjunkt der Versuchsanstalt. 1911.

Heft 8. Versuche über das Verhalten von Kupfer, Zink und Blei gegenüber Zement, Beton und den damit in Berührung stehenden Flüssigkeiten. Ausgeführt im Kgl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde-West in den Jahren 1908 bis 1910. Bericht erstattet von Professor E. Heyn, Direktor im Kgl. Materialprüfungsamt. 1911.

Heft 11. Brandproben an Eisenbetonbauten. Ausgeführt im Königlichen Materialprüfungsamt zu Groß Lichterfelde-West im Jahre 1910. Bericht erstattet von Professor M. Gary Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt. 1911.

Heft 13. Versuche über den Einfluß von Kälte und Wärme auf die Erhärtungsfähigkeit von Beton. Ausgeführt im Königlichen Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde-West im Jahre 1911. Bericht erstattet von Professor M. Gary, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt. 1912.

Heft 15. Versuche über den Einfluß der Elektrizität auf Eisenbeton. Ausgeführt in der Großh. Materialprüfungsanstalt an der Technischen Hochschule zu Darmstadt in den Jahren 1909 bis 1911. Bericht erstattet von Professor O. Berndt, Geh. Baurat, Vorstand der Materialprüfungsanstalt, Professor Dr. K. Wirtz, Geheimer Hofrat, unter Mitwirkung von Privatdozent Dr.-Ing. E. Preuß. 1912.

Heft 16. Versuche über die Widerstandsfähigkeit von Beton und Eisenbeton gegen Verdrehung. Ausgeführt in der Materialprüfungsanstalt der Königlich Technischen Hochschule zu Stuttgart in den Jahren 1910 und 1911. Bericht erstattet von Dr.-Ing. C. Bach, K. Württ. Baudirektor, Professor, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt, und O. Graf, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt. 1912.

Heft 17. Versuche mit Stampfbeton. Ausgeführt im Königlichen Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde-West in den Jahren 1905 bis 1910. Bericht erstattet von Geheimem Regierungsrat Professor M. Rudeloff, Direktor, und Professor M. Gary, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt. 1912.

Heft 19. Prüfung von Balken zu Kontrollversuchen. Ausgeführt in der Materialprüfungsanstalt der Königlich Techn. Hochschule zu Stuttgart in den Jahren 1910 und 1911. Bericht erstattet von Dr.-Ing. C. Bach, K. Württ. Baudirektor, Professor, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt und O. Graf, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt. 1912.

Bestimmungen aufgestellt vom Deutschen Ausschuß für Eisenbeton.

1. Allgemeine Bestimmungen für die Vorbereitung, Ausführung und Prüfung von Bauten aus Stampfbeton. 7. Auflage. 1911.

2. Normen für vergleichende Druckversuche mit Stampfbeton (Laboratoriumsversuche). 6. und 8. Auflage. 1911.

3. Bestimmungen für Druckversuche bei der Ausführung von Bauten aus Stampfbeton. 6. und 7. Auflage. 1911.

Kataloge usw. der Firmen:

G. Polysius-Dessau, Eisengießerei und Maschinenfabrik. — Vgl. auch die Sonderschrift letztgenannter Firma: Portlandzementwerk Balingen.
Rudolf Witte, Ingenieur, Osnabrück.
Gauhe, Gockel & Cie., Oberlahnstein a. Rh.
Ph. Deutsch-Berlin (Ransome Betonmischmaschine).
Kgl. Bayer. Hüttenamt Sonthofen (Kunzmischmaschinen).
Georgs-Marien-Bergwerks- und Hüttenverein (Eirich-Mischmaschine).
P. L. Smith & Cie., Kopenhagen und Berlin (Kominor, Diana Rohrmühle). — Vergl. auch die Schrift der vorstehenden Firma: „Über Fortschritte in der Technik der Zementindustrie".
Leipziger Zementindustrie Dr. Gaspary & Cie., Markranstädt bei Leipzig.
Ratzinger und Weidenkoff-München.
Rheinpfälzer Eisenindustrie (Kaiser und Schlaudecker), St. Ingbert.
Allgemeine Baumaschinen-Bedarfs-Gesellschaft, G. m. b. H. Leipzig.
Excelsior-Maschinenbau-Gesellschaft, G. m. b. H., Stuttgart.
Bünger, Baumaschinenfabrik, A.-G., Düsseldorf.
usw.

§ 97.

Zeitschriften: Vergl. unter §§ 92 und 96, zudem Zeitschrift Stahl und Eisen.

Werke allgemeiner Art über Baustoffkunde, vgl. § 92.

1. Passow, Dr., H., Die Hochofenschlacke in der Zementindustrie. A. Stubers Verlag. Würzburg. 1908.
2. Mitteilungen aus der chem.-techn. Versuchsstation von Dr. H. Passow in Blankenese. Leipzig. Verlag Veit & Cie.
3. Eisenportlandzement, Taschenbuch herausgegeben vom Verein Deutscher Eisenportland-Zement-Werke. 2. Aufl. 1904. A. Bagel. Düsseldorf.
4. Fleißner, Hans, Eisenhochofenschlacken, ihre Eigenschaften und ihre Verwendung. Verlag W. Knapp. Halle a. S. 1912.
5. Birk, Alfred, Der Königshofer Schlackenzement. Prag. 1905. Calvesche Buchhandlung.
6. Bericht über den Stand der Schlackenmischfrage. Sonderabdruck aus dem Protokoll der Hauptversammlung des Vereins Deutscher Portland-Zement-Fabriken. Berlin 1907 und 1910.
7. Gary, M., Über den Nachweis freier Hochofenschlacke im Zement. Sonderabdruck aus den Mitteilungen des Königlichen Materialprüfungsamtes Groß-Lichterfelde-West. 1905.

§ 98.

Zeitschriften: Vergl. unter §§ 92, 96 und 97.

Werke allgemeiner Art über Baustoffe, vergl. § 92.

1. Hambloch, A., Der Traß, seine Entstehung, Gewinnung u. Bedeutung im Dienste der Technik, Vortrag, Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure. 1909. S. 663. Sonderabdruck. 1909. Julius Springer.
2. Derselbe, Die bedeutendsten Mörtelbildner in Deutschland. 1911. Julius Springer.
3. Derselbe, Die rheinischen Puzzolane: Der Traß, ein Beitrag zur Lösung der Frage über das Wesen der Puzzolane und ihren Erhärtungsvorgang mit Kalk. 1908. Kommissionsverlag. Otto Weber. Leipzig.
4. Derselbe, Zement-Kalkmörtel bei Talsperrenbauten. Arm. Bet. 1910.
5. Derselbe, Versuche auf Adhäsionsfestigkeit von Traßmörteln. Andernach. 1909. Selbstverlag. (Enthält Literaturnachweisung der bis 1909 erschienenen Arbeiten von Hambloch.)
6. Derselbe, Ist Diatomeenerde eine Puzzolane? Arm. Bet. 1912. Nov.-Heft.
7. Kiepenheuer, Dr., L., Wasserkalk. Bonn. 1911. S. 205 u. ff.
8. Derselbe, Kalk und Mörtel. Köln. 1907. S. 120 u. ff.
9. Schumann, Dr., Über Portlandzement und Traßmörtel. Vortrag auf der Hauptversammlung des Vereins Deutscher Portland-Zement-Fabrikanten. 1909.
10. Burchartz, H., Traßmörtel. Berlin. 1908. Verlag Julius Springer.

Kapitel XXX.

Asphalt und verwandte Baustoffe (namentlich Kitte.)

§ 99. Die Bildung, das Vorkommen, die Arten und Zusammensetzung des Naturasphaltes, sowie seine Haupteigenschaften, seine Gewinnung und seine Prüfung[1]).

Der in der Natur sich findende Asphalt tritt in sehr verschiedener Form, Dichte, Farbe. usf. auf, und zwar als harter pechähnlicher, mehr oder weniger spröder, glänzend schwarzer Körper — Natur-Asphalt —, oder in Form von zähflüssigem bzw. weichem „Bergteer", endlich in inniger Verbindung mit porigen Gesteinen, die er durchsetzt hat, als „Asphaltstein".

Durch geologische Forschung, wie auch auf dem Wege des Versuches, ist nachgewiesen, daß der Asphalt in innigster Beziehung zum Erdöl (Petroleum) steht, das im Erdinnern unter sehr hohem Drucke und hoher Wärme entstanden, in den oberen kälteren Erdschichten sich verdichtete und in dieser Form entweder als Naturasphalt oder Bergteer unmittelbar primär oder, von hier fortgeführt, sekundär zur Ablagerung gelangte oder endlich von porösen Gesteinen durch Aufsaugung aufgenommen wurde und den Asphaltstein bildete. Die Natur dieser bituminösen Gesteine: Molasse oder Breccien von Quarzkieseln, Kalksteine, kalkige Schiefer, Schiefertone gestatten durchaus diese Einwirkung des Asphaltes, und zwar um so leichter, unter je höherem Druck das flüssige oder in Dampfform gelangte Erdöl stand. War der Druck nicht ausreichend, um das Gestein zu imprägnieren, so bildeten sich in Spalten, Klüften, als Überdeckung der Gesteine usw. zusammenhängende Lagen von starrem, festem Bitumen, also mehr oder

[1]) Vergl. u. a. hierzu das Werk von Dr. Jul. Swoboda „Der Asphalt und seine Verwendung" Hamburg und Leipzig. Verlag L. Voß. 1904. Diesem Werke sind manche der nachfolgenden Angaben entnommen.

weniger reinem Asphalte. Es ist naturgemäß, daß ein so leicht bewegliches Material wie das Erdöl seine Entstehungsstelle leicht verlassen kann; demgemäß ist auch das in Asphalt umgebildete Erdöl durchaus nicht immer an der Stelle entstanden, an welcher Asphalt sich findet. Da nach neueren Forschungen über die Entstehung des Erdöles sein Werden in erster Linie auf animalischen Ursprung zurückgeführt wird, besonders aus dem Fette von Seetieren[1]) durch Zersetzung oder Destillationsvorgänge bei nicht allzuhoher Temperatur, aber hohem Drucke, so ist auch Asphalt in letzter Linie als ein aus Lebewesen entstandenes Produkt anzusehen.

Asphalt, auch mit dem aus seiner alt-lateinischen Benennung „Pix tumens" entstandenen Worte „Bitumen", oder als Bergpech bezeichnet, findet sich mit seinen Abarten Bergteer und Asphaltstein an sehr vielen Stellen der Erde. Die Hauptfundgegenden bzw. -orte sind[2]):

a) das Tote Meer, die älteste bekannte Fundstelle von Asphalt, der als syrischer Asphalt im Handel bezeichnet wird. Hier findet man den, durch einige heiße, in das tote Meer einmündende Quellen in geschmolzenem Zustande eingeführten Asphalt entweder an der Oberfläche des hoch salzreichen Wassers schwimmend oder an den Seeufern in grossen Massen angehäuft vor. Der hier anstehende, ziemlich reine Asphalt ist von schwarzer Farbe, zeigt muscheligen Bruch, ein Raumgewicht von 1,103 und einen Schmelzpunkt von 135° C.

Überhaupt ist Syrien ein Land, das im allgemeinen reich an Asphalt ist, namentlich in der Gegend des Toten Meeres, sowie zwischen Jerusalem und Jericho; jedoch sind die früher bergmännisch ausgebeuteten Lager heute fast ausnahmslos nicht mehr im Betriebe, nur zu Herbaya wird noch eine sehr beschränkte Gewinnung aufrecht erhalten.

Weniger wichtige Fundstellen in Asien sind das Elbrusgebirge in Persien, Rangoon in Indien, der Ural, Turkestan, die Gegend des Kaspischen Meeres, der Kaukasus usw.

b) Die Insel Trinidad, vor der Mündung des Orinoco liegend, zeigt eines der mächtigsten Asphaltlager der Welt, das voraussichtlich noch nach Jahrhunderten nicht erschöpft sein dürfte. Hier befindet sich ein grosser, rund 40 ha bedeckender Pechsee, der in seiner Oberfläche ganz aus Asphalt besteht, nahe dem Ufer fest, in der Mitte im allgemeinen weich ist, hier aber auch in der Regenzeit erstarrt. Die Tiefe des Sees wird auf 6 m am Rande, in der Mitte auf 25 m geschätzt; seitlich und von unten aus scheint der Asphalt zuzufließen, da sich trotz der gewaltigen Entnahme noch kein Rückgang des Lagers gezeigt hat und die durch Aushebung des Materials gebildeten

---

[1]) Wahrscheinlich sind durch geologische Hebungen und Senkungen der Ufer Buchten vom Meere abgeschnitten worden, in denen dann durch plötzlichen Eintritt anders gearteten Wassers, durch heiße Quellen, vulkanische Einflüsse oder dgl. ein Massensterben von Seetieren eingetreten ist; hierbei kommen sowohl das Plankton als auch größere Lebewesen der See in Frage; noch heute gibt es am Kaspischen Meere eine Bucht, in welche sich ein Wasserstrom mit geringerem Salzgehalte ergießt, der hier alle Lebewesen und namentlich die zur Laichzeit in die Bucht kommenden Fische abtötet.

Die obige Theorie findet auch darin ihre Stützung, daß sich stets an Fundorten von Erdöl auch Seesalzablagerungen zeigen, und daß es experimentell gelungen ist, tierische Fette in petroleumähnliche Produkte umzuwandeln. Wenn auch wohl nicht abgeleugnet werden kann, daß an verschiedenen Stellen Erdöl auch aus untergegangenen Wäldern, also aus Pflanzen und Pflanzenfetten entstanden sein dürfte, so erscheint es doch unter Würdigung der geologischen Begleiterscheinungen, namentlich der Auffindung von Salz und Salzwasser, bei den großen Petroleumlagern als unwahrscheinlich, daß hier Pflanzen eine erhebliche Rolle gespielt haben, da ihre Ablagerungen nicht marinen Charakter zeigen.

[2]) Vergl. hierzu: „Der Asphalt und seine Verwendung" von Dr. Julius Swoboda. Verlag L. Voß, Hamburg-Leipzig 1904 und „Die Asphaltindustrie" von Fel. Lindenberg. Hartlebens Verlag.

Vertiefungen sich durch seitlichen Nachschub bald wieder schließen[1]). Neben dem See findet sich nahe der Küste und an anderen Stellen im Lande Asphalt; das aus dem See gewonnene Material ist jedoch bedeutend reiner als der durch fremde Stoffe ziemlich stark verunreinigte „Landasphalt". Der Trinidadasphalt kommt in Fässern in vorgereinigtem Zustande in den Handel, um nicht die überflüssigen, wertlosen Beimengungen mit verfrachten zu müssen. Da im allgemeinen der Rohasphalt von Trinidad aus $^1/_3$ reinem Bitumen, $^1/_3$ Wasser und $^1/_3$ erdigen Beimengungen besteht, ist leicht zu erkennen, welche hohe Bedeutung eine Entfernung letzterer bei den Beimengungen hat. Die Reinigung wird in sehr einfacher Weise in der Art ausgeführt, daß man Asphalt in große Kessel bringt und ihn hier während einer Dauer von 12 Stunden erhitzt. Hierbei wird das Wasser verdampft, der Asphalt dünnflüssig gemacht, und somit das leichtere Bitumen von den schwereren, zu Boden sinkenden Erdteilen befreit; ersteres wird schließlich mit großen Kellen in offene Tonnen geschöpft, in denen es für die Verfrachtung erstarrt.

Trinidad-Asphalt ist von nicht ganz schwarzer, sondern ins Braune übergehender Farbe, sein Schmelzpunkt liegt bei 130° C.

Gegenüber von Trinidad auf der Insel Pedernales finden sich ebenfalls weit ausgedehnte Asphaltlager, die von einer deutschen Gesellschaft ausgebeutet werden.

c) Die Insel Barbados. Hier findet sich ein unter dem Namen Manjak bekannter bröckeliger, wertvoller, vorwiegend für Lacke, Farben und Isoliermaterialien benutzter Asphalt in größeren Gängen, aus denen er bergmännisch gewonnen wird. Die größte Grube ist die Merivall-Grube.

d) Venezuela (bei Bermundez und Guanaco in der Nähe des Paria-Golfes), Peru (Coxitambo-Asphalt, sehr rein), Argentinien.

e) Die Insel Kuba (bei la Paz, bei Ranchuelo, an der Bucht von Cardenas usw.).

f) Nordamerika (Utah, Colorado, Texas, Kalifornien, namentlich im Kreise Santa-Barbara, am Huron-See in Kanada).

g) Mexiko. Hier finden sich sehr bedeutende Lager, u. a. im Bezirke Sota della Marina, aus denen der Asphalt auch nach Europa als „Chapota-Asphalt" gebracht wird; es ist dies ein braunes Pulver mit starkem Geruche.

h) Das Val de Travers im Schweizer Jura zeigt eines der großartigsten Vorkommen von Asphalt in der Welt, da sich dieser hier in einer Längenausdehnung von rd. 10 km und auf 2,5 km Breite vorfindet. Die Stärke der Bänke wechselt von 1—5 m. Der Rohstoff — ein Asphaltstein — ist ein an Bitumen sehr reiches, wertvolles und fast überall gleichartiges Material.

Weitere größere Asphaltlager in der Schweiz findet sich bei Couvet, bei Credo unweit der französ. Grenze und bei la Presta im Kanton Neufchâtel.

i) In Frankreich finden sich die bekanntesten Gruben im Rhonetale bei Seyssel (Kalk-Asphaltstein), sowie bei Diablerets und Pyrimont im oberen Jura, daneben an zahlreichen Stellen, vorwiegend im Südosten des Landes.

k) Italien. Hier sind als Fundstellen zu nennen: Die Abruzzen, namentlich zwischen San Valentino und Manopella, und am Kap Ancona, die Gegend von Neapel, Sizilien, vornehmlich die Gegend von Syrakus und Ragusa.

l) Spanien namentlich die mächtigen Lager in der Nähe von Vittoria.

---

[1]) Obwohl in den letzten Jahren 120—130000 Tonnen jährlich gewonnen worden sind, zeigt der See keine Senkung. Die namentlich in der Mitte halbflüssige Masse stellt sich stets wieder auf die alte Spiegelhöhe ein.

m) Österreich-Ungarn. Hier sind zu nennen die Gruben von Steyersdorf (Steiermark), Seefeld (Tirol), Spalato (Schiefermergel mit 15—40 v. H. Bitumen), Großwardein (mächtige Asphalt-Sand-Lager), Kronstadt (Asphaltkalkstein) usw.

n) In Deutschland endlich findet sich Asphalt zwar an vielen Orten, die aber für seine Gewinnung fast nur eine örtliche Bedeutung haben. Besondere Wichtigkeit haben hier nur erlangt die Fundstellen zu Lobsann im Elsaß, Limmer bei Hannover, Vorwohle in Braunschweig. In Lobsann[1]) steht ein Asphaltkalk mit 7—18% Bitumen in ungefähr 20 m Mächtigkeit an, an den sich Asphaltsand von etwa 6 m Stärke der Schicht nach unten zu anschließt, während bei Limmer, namentlich bei den Dörfern Ahlem und Velber von Asphalt durchtränkte Kalksteinmassen sich finden, deren Gehalt an Bitumen von oben nach unten von etwa 8 auf 30 v. H. zunimmt. In Vorwohle endlich, am Abhange des Hils-Bergzuges im Braunschweigischen gelegen, findet sich ein Asphaltkalkstein mit etwa nur 6 v. H. Bitumen, der aber doch im großen zur Erzeugung von Asphaltmastix usw. ausgebeutet wird und in Zukunft noch weiter erschlossen werden soll, um so mehr als höherwertige Schichten in neuerer Zeit aufgedeckt wurden.

Die chemische Zusammensetzung des Asphalts ist, wie aus der Art seiner Entstehung erklärlich, keine überall gleiche; charakteristisch-chemische Übereinstimmungen treten nicht auf. Die chemisch-quantitative Analyse gibt demgemäß auch keinen allzu wertvollen Anhalt über die Güte des Materials und seine für die Baupraxis wichtigen Eigenschaften und die aus ihnen abzuleitende, wahrscheinliche Bewährung. Im allgemeinen können die Rohasphalte, d. h. das in der Natur sich findende rohe Bitumen, als ein schwefelhaltiger Kohlenwasserstoff[2]) angesehen werden, während Bergteer als eine Lösung solcher Stoffe in flüssigen Kohlenwasserstoffen aufzufassen ist. Von der Menge der letzteren hängt die mehr oder minder flüssige Beschaffenheit des Bergteers ab.

Über die Größe des Gehaltes an reinem Bitumen, der ja im allgemeinen für die Wertbemessung der Asphalte ausschlaggebend ist, gibt die nachfolgende Zusammenstellung für die wichtigeren der vorstehend erwähnten Fundorte und Rohasphalte Auskunft.

Art des Asphaltes.	Gehalt an Bitumen in v. H. -Teilen.
Syrischer Asphalt	92—83
Barbados.-Manjak-Asphalt	95
Trinidad-Asphalt	70—80
Gilsonit-Asphalt von Utah	100
Tschapepot-Asphalt von Kuba	90
Ranchuelo „ „ „	52
Pinar del Rio „ „ „	54
Venezuela „ (Bermundez)	90
Kalifornien (La Patura-Grube)	60
Uvald-Asphalt von Texas	15—20.

Wie schon erwähnt, bestehen die Asphaltsteine nur zu einem geringeren Teile aus Bitumen; es sind vorwiegend mit solchem getränkte Kreide, Kalkstein, Dolomit, Schieferton, Mergelschiefer usf. Je vollkommener das Aufsaugen des Bitumens vor sich gegangen, d. h. je feinkörniger und regelmäßiger das Gestein war, um eine möglichst gleichmäßige und innige Imprägnierung zu gestatten, um so wertvoller und für die

[1]) Hierher gehören auch die nahe gelegenen Fundorte von Pechelbronn und Schwabweiler.

[2]) Nicht unerhebliche Schwefelmengen — etwa 10 v. H. — weisen die Rohasphalte vom Toten Meere und von Trinidad auf.

Baupraxis besser ist auch der Asphaltstein. Im allgemeinen schwankt sein Bitumengehalt, wie nur allzu erklärlich, ebenfalls bedeutend, etwa zwischen 8 und 20 v. H., ist auch in demselben Lager durchaus nicht gleich, sondern, der Natur des Gesteins angepaßt, mehr oder weniger verschieden.

Über Mittelwerte an Bitumengehalt von Asphaltsteinen gibt die nachfolgende Zusammenstellung Auskunft:

Art des Asphaltsteins	Gehalt an Bitumen in v. H. -Teilen.
Val de Travers-Asphaltstein	10
Lobsann „	12
Seyssel „	9
Limmer „	8—14
Vorwohle „	6,5
Seefeld „ (Tirol)	8—16
Spalato „	13
Ragusa „	9
Ungarn (Tataros, Derna) Asphaltstein	15—22
Savoyen „	30—38.

Eigenschaften. Im allgemeinen ist der rohe, feste Asphalt, der sich, wie vorerwähnt wurde, in Europa nicht findet, sondern hier nur durch Asphaltstein oder Bergteer vertreten ist, eine dunkelbraune bis schwarze Masse mit fettglänzendem muscheligen Bruche von eigenartigem Geruche. Asphalt wird durch Reiben elektrisch, ist in Äther, Schwefelkohlenstoff, Terpentinöl u. dgl. vollkommen, in Benzol teilweise löslich. Das Raumgewicht liegt zwischen 1,1 und 1,2, steigt aber bei besonderen Mineralbeimengungen bis 1,6, die Härte ist gering (2). Bei etwa 40° C tritt ein Erweichen, zwischen 100—130° C ein Schmelzen ein. Asphalt verbrennt ohne Rückstand mit rotgelb leuchtender, stark russiger Flamme.

Die Wertbestimmung des Asphaltes richtet sich im allgemeinen nach seiner Verwendung; es liegt auf der Hand, daß dort größere Reinheit verlangt wird, wo der Asphalt zu Lacken u. dgl. verwendet wird, als dort, wo es sich um seine Ausnützung für Isolations-, Dichtungsarbeiten und Zwecke des Straßenbaues handelt; daß es im letzteren Falle auf den Querschnitt des Steines ankommt und namentlich Dichtheit dieses, bzw. feinkörnige Struktur und durchaus gleichmäßige Imprägnierung erwünscht sind, wurde bereits betont.

Die technisch-chemische Analyse des Asphaltes ergründet vorwiegend den Bitumengehalt, die Menge der angeschlossenen anderen Mineralien sowie die Art des Bitumens. Hierbei ist von Wichtigkeit die Bestimmung des Wassers, des Schwefels, der Gehalt an leichten und schweren Ölen, daneben auch die Festlegung des Schmelzpunktes, des Erweichungspunktes und der Härte bei verschieden Temperaturen. Da das Eingehen auf diese vorwiegend chemischen, daneben physikalischen Untersuchungen an dieser Stelle zu weit führen würde, sei auf das schon mehrfach erwähnte Werk von Dr. Julius Swoboda[1]) verwiesen, welcher gerade diese chemisch-physikalischen Fragen sehr eingehend behandelt.

---

[1]) Vergl. dessen Werk (Hamburg und Leipzig. Leopold Voß. 1904. S. 47—60). Hier ist auch die Untersuchungsmethode der Berliner Mech.-Techn. Versuchsanstalt (vergl. deren Mitteilungen 1900. S. 148) erwähnt. Zugleich finden sich auch Untersuchungsmethoden angegeben, um das natürliche Asphaltbitumen von dem künstlichen Petroleum- oder Steinkohlenteerasphalt zu unterscheiden. Eine einfache Art einer solchen Untersuchung ist die: 1 g Bitumen wird in 2½ ccm Schwefelkohlenstoff gelöst und zu 1 ccm dieser Lösung 2,5 ccm Terpentinöl und 10 ccm absol. Alkohol

Für die Verwendung von Asphaltstein im Straßenbau wird meist ein Kalkgestein von hell- bis dunkelbrauner Färbung und einem Raumgewichte von 2,0—2,2 vorliegen. Die Imprägnierung mit Asphalt muß gleichmäßig sein, weiße Kalkkörner sollen nicht auftreten. Um die Zweckmäßigkeit für Stampfasphalt zu erproben, also die Eigenschaft zu prüfen, die die meisten Asphaltsteine besitzen, daß sie, zu Pulverform zerkleinert und erhitzt, sich wieder durch Stampfen zu einem Gestein zurückführen lassen, wird i. d. R. eine der Verwendung in der Praxis genau angepaßte Prüfung vorgenommen. Zu diesem Zwecke verwandelt man ein Stück des Gesteines in ein ziemlich feines Pulver, indem man es erhitzt und die zerfallenden Stücke weiter zerkleinert. Das hierdurch gewonnene Pulver wird dann, bis es beginnt Dämpfe zu bilden, fortschreitend erhitzt und nunmehr in kleine eiserne Rahmen, die auf fester Unterlage aufruhen, gebracht; in ihnen wird es durch Schlagen mit einem flachbahnigen Hammer auf etwa 20—30 mm Stärke zusammengepreßt und dann der Abkühlung überlassen. Hat die fertige Platte die richtige Beschaffenheit, namentlich ausreichende Wasserundurchlässigkeit und Festigkeit, so kann das Gestein ohne besonderen Zuschlag Verwendung finden; ist die erstarrte Platte zu weich, enthält also der Asphaltstein zuviel Bitumen, so sind magere Gesteinsteile zuzusetzen, ist die Probe hingegen spröde oder wasserdurchlässig, so ist Bitumen, oder besser an solchem fetteres Gestein zuzufügen.

Naturgemäß kann man auch hier wie beim Rohasphalte den Gehalt an Bitumen durch Ausscheiden desselben aus dem Gestein durch Lösungsmittel und aus dem hierdurch bedingten Gewichtsverluste bestimmen. In der Regel findet ein Asphaltgestein für Stampfasphalt Anwendung, welches 10—11 v. H. Bitumen enthält.

Die Würfel-Druckfestigkeit des Asphaltes ist naturgemäß je nach dem betr. Rohmaterial sehr verschieden; so fand Hauenschild hier die Druckfestigkeit von

Asphaltstein vom Val de Travers zu	52	kg/qcm
Limmergußasphalt	65	„
Ungarischem Gußasphalt	108	„

während ein normaler Stampfasphalt etwa 100—120 kg/qcm Druckfestigkeit aufweist. Die Zugfestigkeiten der einzelnen Asphaltarten bewegen sich meist in weniger weiten Grenzen und liegen etwa zwischen 25—30 kg/qcm, wobei aber vorausgesetzt ist, daß die Temperatur so tief liegt, daß keinerlei Erweichen stattfindet.

Bei der Gewinnung des Rohmaterials ist wiederum zwischen rohem Asphalt und Asphaltgestein zu unterscheiden.

Schon bei Besprechung der Fundorte von Rohasphalt wurde darauf hingewiesen, daß seine Gewinnung wegen des offenen Zutagetretens bzw. Schwimmens auf dem Wasser oder Antreibens am Ufergelände vielfach sehr einfach ist und nur in einer Sammel-, Schöpf-, und Grabearbeit besteht. Ist Rohasphalt stark durch Sand oder ähnliche mineralische Beimengungen verunreinigt, so tritt entweder in roher Weise, wie beim Trinidadasphalt erwähnt wurde, eine Vorreinigung durch einfaches längeres Erhitzen ein, oder es wird ein Umschmelzen unter Zuführung von Wasser ausgeführt.

Diesem Zwecke dienen alsdann zunächst offene Kessel, in denen der Rohasphalt, mit Wasser vermengt, aufgekocht wird; hierbei setzen sich Sand u. dgl. Verunreinigungen

---

hinzugemengt; ein sich bildender brauner Niederschlag deutet auf Steinkohlenteerpech, ein schwarzer, fein flockiger auf Petroleumasphalt, ein schwarzer fest zusammenhängender pechartiger auf Naturbitumen hin (mitgeteilt in der Österreich. Chemiker- und Techniker Zeitung 1900. Nr. 2). Läßt man die Niederschläge trocknen, so ist der erstere hellbraun, pulverförmig, der zweite schwarz, nicht glänzend, erdig, leicht zerreiblich, der dritte (Naturprodukt) schwarz glänzend, klebrig; erwärmt, zieht er Fäden.

zu Boden, während das von ihnen befreite Bitumen in andere Kessel überfließt, um hier nochmals abgedampft und von dem Wasser wieder befreit zu werden. Will man das Bitumen dann noch weiter von den ihm anhaftenden Ölen trennen, so erfolgt eine Destillation — vielfach unter Verwendung überhitzten Wasserdampfes, wobei meist aus dem Rohasphalt 55 v. H. reines Asphalt-Bitumen und 45 v. H. Öle gewonnen werden.

Die Gewinnung des Asphaltsteines erfolgt meist auf bergmännische Art in unterirdischem Betriebe, seltener und nur dort, wo die Verhältnisse besonders günstig liegen, im offenen Tagebau. Die erstere Gewinnungsart vermeidet die Beseitigung unnützen Abraumes und gestattet die Ausbeutung nur derjenigen Schichten, welche wirklich abbaufähig sind, d. h. genügend Bitumen besitzen, während beim Tagebau naturgemäß Abraum und sämtliches Asphaltgestein zu beseitigen sind. In beiden Fällen ist man oft zur Wasserhaltung, also zum Pumpbetriebe gezwungen, wobei der Bergwerks-Stollenbetrieb i. d. R. größere Anforderungen stellt. Als Gewinnungsorte mit unterirdischem Betriebe seien von den bekannten europäischen Fundstellen von Asphaltstein genannt: Das Val de Travers, Seyssel, Lobsann, zum Teil auch Ragusa und Limmer, während sich Tagebau an einigen Stellen der beiden letztgenannten Orte, sowie in Vorwohle findet. Auch die Stärke der Schichten und Gänge, in denen der Asphaltstein ansteht, sind nicht nur in den einzelnen Brüchen, sondern auch in einem jeden von ihnen oft recht verschieden[1]).

Vielfach muß die Lösung der einzelnen Steine mit Sprengarbeit erfolgen, wenn einfache Hackarbeit nicht mehr ausreicht oder zu unwirtschaftlich wird. Abgesehen davon, daß naturgemäß das taube Gestein von dem Bitumen enthaltenden getrennt wird, findet auch gleich im Bruch eine Sortierung des letzteren statt. Hierbei werden die stark bituminösen, braunvioletten und meist sehr weichen Steinblöcke (etwa 10 % Bitumen und mehr enthaltend), die beim Anschlagen mit dem Hammer nicht klingen, von den durch hellbraune oder graue Färbung sich unterscheidenden spröden, auch meist hellklingenden, mageren Materialien geschieden. Bei der späteren Bearbeitung des Asphaltgesteins zu Stampfasphalt, auf die der nächste § eingeht, wird dann meist eine Mischung des fetten und des mageren Gesteins in der Art ausgeführt, daß die Gesamtmischung etwa 10 v. H. Rohbitumen aufweist, da gerade diese Grenze sich für die Verwendung im Straßenbau als günstig erwiesen hat, weil sie bei Sonnenbestrahlung ein allzu erhebliches Weichwerden ausschließt und in der Kälte das Auftreten von Rissen vermeidet, dabei aber zu einem undurchlässigen Asphaltkörper führt.

§ 100. Die Verwendung des Asphaltes im Bauwesen, künstlicher Asphalt.

Asphalt ist, wenn auch gegenüber seiner jetzigen, vielseitigen Verwendung in untergeordnetem und geringem Maße bereits im Altertume für Zwecke des Bauens verwendet worden; hier waren es in erster Linie die alten östlichen Kulturvölker, vornehmlich die Babylonier, Assyrer, Ägypter und Griechen, später auch die Römer,

[1]) Nach Mitteilung von Dr. Swoboda beträgt die Schichtstärke im Val de Travers 2—6 m, zu Lobsann 3—25 m, wobei allerdings 0,3—0,8 m starke Letten-, z. T. auch Braunkohlenschichten das Gestein durchsetzen, in Limmer 0,5—1,0 m, in Vorwohle mehr als 20 m.

welche den Asphalt vom Toten Meere als Mörtel und als Dichtungsmaterial verwendeten[1]).

Seine hohe Bedeutung als Baumaterial aber hat Asphalt erst von der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts an erlangt, namentlich durch die Benutzung zu Stampfasphalt. Wenn man die Hauptverwendungsgebiete der baulichen Benutzung kurz zusammenfaßt, so kann man unterscheiden die Verwendung von

a) Asphaltstein zu Stampfasphalt,

b) Rohasphalt und Asphaltstein zu Gußasphalt, Asphaltbeton und ähnlichen Zwecken, sowie zur Imprägnierung von Geweben, Filz, Pappe u. dgl. zum Zwecke der Wasserundurchlässigkeit,

c) Die Benutzung von Asphalt zur Erzeugung von Lacken, Firnissen, Isolationskörpern gegenüber dem elektrischen Strome, Farben usf.

a) Die Herstellung von Stampfasphalt (Asph. comprimé), dessen Eigenschaften und Verwendung.

Die Benutzung von Asphaltstein zur Erzeugung zusammenhängender Straßenflächen aus Asphalt oder einzelner gleichartiger Kunststeine in Plattenform beruht, wie schon in § 99 kurz erwähnt wurde, auf der Eigenschaft des genannten Gesteins nach Pulverisierung und Erhitzung durch Stampfen in den alten Steinzustand wieder zurückgeführt zu werden. Diese ganz besondere Eigenschaft des Asphaltsteines wurde erst im Jahre 1860 durch den französischen Ingenieur Merian zum ersten Male ausgenutzt, indem er auf der von Travers nach Pontarlier führenden Landstraße vorher in Pulverform zerfallenen Asphaltkalkstein aufbringen und festwalzen ließ[2]).

Heute finden für diesen Zweck vorwiegend der Asphaltstein vom Val de Travers, daneben der von Seyssel-Pyrimont, Ragusa, Limmer und aus einigen ungarischen Gruben Anwendung.

Nachdem der rohe Asphaltstein in eine Mischung, die etwa 10 v. H. Bitumen enthält (vgl. S. 711) gebracht ist, findet seine Zerkleinerung statt, und zwar zunächst unter Verwendung von Vorbrechmaschinen. Diese Arbeit ist notwendig, weil das Asphaltgestein ein schlechter Wärmeleiter ist und bei Erhitzung größerer Stücke das Bitumen an der Außenfläche dieser schon zur Verdampfung gelangt, wenn das Innere noch fest ist, man also hierbei niemals das Zerfallen des Gesteins zu einem gleichmäßigen, gleich heißen Pulver erreichen kann[3]).

---

[1]) Die Verwendung von Asphaltbitumen als Mörtel lassen viele Reste uralten Mauerwerkes in Ninive, Memphis, Babylon usw. erkennen. Eine ausführliche Beschreibung des Vorkommens, der Eigenschaften und der Verwendung von Bitumen gibt Plinius secundus im 35. Buche seiner Historia naturalis, auch erwähnt Herodot, sowie die Bibel (Gen. 14. 10) das Material. Genaueres hierüber, namentlich auch eine Übersetzung der Ausführungen von Plinius finden sich in dem mehrfach genannten Werke von Dr. Swoboda, S. 7 u. ff.

Auch sei erwähnt, daß mit Asphalt, bzw. seinen Dämpfen in sehr früher Zeit bereits Holz konserviert wurde, wie ja auch die Erhaltung der altägyptischen Mumien in erster Linie auf einer Behandlung mit Asphalt beruht.

[2]) Zu dieser Ausführung leiteten die Beobachtungen, daß die Wege, Höfe usw. vieler Asphaltgruben durch die unvermeidlichen Streuverluste bei Materialtransport allmählich fest und wasserundurchdringlich wurden.

[3]) Man hat auch versucht, in rotierenden Trommeln oder dgl. das Asphaltgestein zu zerteilen und zu erhitzen, bzw. seine Überführung in das heiße Pulver durch Rührwerke zu beschleunigen und zu verbessern, jedoch hat sich auch hier gezeigt, daß nur bei genauester Überwachung der Arbeit mit einem gleichartigen Enderzeugnisse zu rechnen ist. Deshalb wird die unmittelbare Zerteilung größerer Stücke durch Erhitzung nur noch in seltenen Fällen angewendet und ihr gegenüber dem mechanischen Zerkleinern der Vorzug eingeräumt.

Zum Vorbrechen des aus dem Bruche kommenden Gesteins dienen normale Steinbrechmaschinen bzw. Stampfwerke, zweckmäßig mit einem aus Hartguß gebildeten Boden, der quadratische Öffnungen hat und somit nur Stücke bestimmter Größe nach unten herausfallen läßt, endlich Walzwerke[1]). Sind durch solche Vorarbeitsmaschinen die Asphaltstücke in etwa Faustgröße zerkleinert, so erfolgt ihr Zermalen in ein Pulver von annähernd gleicher Korngröße. Hierzu dienen Schlagkreuzmühlen oder Desintegratoren (vgl. S. 145); namentlich letztere leisten, obwohl ihre Antriebskraft groß ist, recht gute Dienste auch in wirtschaftlicher Hinsicht. An die Mühlen schließt sich vielfach eine Transportschnecke an, welche das pulverisierte Gestein nach Siebtrommeln u. dgl. führt in denen eine mechanische Sichtung nach der Korngröße stattfindet.

Erachtet man im Hinblicke darauf, daß der Stampfasphalt rd. 10—11 v. H. Bitumen enthalten soll, eine Vermischung der Asphaltsteine erst nach ihrer Zerkleinerung für zweckmäßig, so sind hierfür Mischbehälter oder Mischmaschinen vorzusehen.

Die Mischbehälter sind in der Art eingerichtet, daß aus ihnen, vermittelst einer durch verstellbare Schieber in bestimmter Größe freigegebenen Bodenöffnung, die Asphaltpulver verschiedenen Gehaltes in dem gewünschten Massenverhältnisse ausfließen und sich hierbei vermischen, während als Mischmaschinen, die naturgemäß sicherer arbeiten, solche mit Walzenbewegung bevorzugt sind[2]).

Der Zerkleinerung in Pulverform und — falls notwendig — Mischung des Asphaltgesteins folgt seine Erhitzung. Hierdurch wird einerseits das Heraustreiben jeder Spur von Feuchtigkeit bewirkt, andererseits das Bitumen so weit erweicht, daß es eine angenähert plastische Beschaffenheit erhält, die eine Komprimierung, also Zurückwandlung in den Stein gestattet; in diesem Sinne ist bei der Erwärmung streng darauf zu achten, daß die Erhitzung nicht so weit getrieben wird, daß das Material zusammenbackt; es muß durchaus in Pulverform verbleiben. Die dementsprechend benutzten Temperaturen liegen zwischen 105° C als geringstem Werte, um alles Wasser auszutreiben, und 150° C. Letztere Temperatur darf auch deshalb nie überschritten werden, weil sonst der Teil des Bitumens in Dampfform übergeht, der gerade für die spätere Erhärtung des Asphaltsteines von besonderem Werte ist.

Die der Erhitzung dienenden Vorrichtungen können feststehend oder fahrbar sein. Die fahrbaren Apparate kommen, namentlich in größeren Städten, in denen sich Stampfasphaltwerke befinden, heute immer mehr ab, da sie durch Rauchentwickelung und die beim Erhitzen des Asphaltpulvers entstehenden Dämpfe eine nicht unerhebliche Belästigung bilden. Auch kann man das in Fabrikbetrieben in feststehenden Erhitzern erwärmte Asphaltsteinpulver bequem in großen Holzkästen u. dgl. an ihre Verwendungsstelle bringen, da Asphalt als schlechter Wärmeleiter sehr lange seine Temperatur bewahrt und somit unbeschadet längere Wege bzw. ein längeres Stehenlassen in, die Wärme schlecht leitender Umschließung gestattet.

Die feststehenden Erhitzungsöfen sind meist aus Eisenblech zusammengenietete, flache Zylinder, die mit einer Außenfeuerung versehen, an ihrem Mantel und Boden von Heizgasen umstrichen werden und zur dauernden Durcharbeitung und gleichmäßigen

[1]) Die hier benutzten Walzen sind aus einzelnen gußstählernen Zahnringen zusammengesetzt, die sich leicht auswechseln lassen. Solche Maschinen werden, wie überhaupt die Maschinen für die Asphaltindustrie, u. a. von der Firma Brinck und Hübner in Mannheim gebaut.

[2]) Als Sondermaschine kommt hier die von R. Mayer in Görlitz in Frage. Vergl. Lindemann, „Die Asphaltindustrie", S. 103. — Diese Maschine gestattet es, auch Rohasphalt und Kalkstein, beide in gepulvertem Zustande innigst zu vermischen und somit eine Kunstasphaltsteinmenge — dem Naturasphaltstein nachgebildet — zu erzielen.

Erwärmung des meist von oben eingeführten Pulvers eine um ihr senkrechte Achse drehbare Rührvorrichtung im Innern aufweisen. Der Betrieb ist ein zeitweiser. Nach ausreichender Erhitzung einer bestimmten Menge von Pulver, die i. d. R. einer Wagenladung entspricht, wird das fertige, erhitzte Material durch Öffnung einer Klappe am Behälterboden abgezogen, um sofort in die Transportkästen u. dgl. zu gelangen, und hierauf neues Pulver von oben aus, meist durch Trichter, in den Erhitzungszylinder eingeführt. Für Abführung der Erhitzungsgase durch ein auf dem Behälter aufgesetztes Rohr ist Sorge zu tragen.

Die fahrbaren Erhitzer bestehen vielfach aus einer, um ihre wagerechte Achse drehbaren Trommel, in die das Pulver von der Seite her eingeschüttet wird. Die Trommel ist mit einem äußeren Heizmantel umgeben, in den von einem, auf dem Fahrgestelle montierten kleinen Schachtofen die Heizgase einströmen. Die Abführung der Asphaltdämpfe erfolgt hier i. d. R. durch die hohle, Löcher aufweisende Achse des Erhitzungszylinders und zwar werden die sich hier sammelnden brennbaren Dämpfe meist unter den Rost der Feuerung geleitet, um deren Wirkung zu erhöhen. Meist ist dafür Sorge getragen, daß — wegen Feuersgefahr — der Ofen seitlich verschoben werden kann, wenn das fertig erhitzte Pulver aus dem Zylinder entnommen werden soll. Es liegt auf der Hand, daß die Anordnung dieser fahrbaren Erhitzer im einzelnen sehr verschiedene Bauarten aufweist, auf die aber an dieser Stelle nicht eingegangen werden kann.

Um eine Straße mit Stampfasphalt zu überdecken ist eine vollkommene Dichtheit des Untergrundes eine grundlegende Bedingung, d. h. auf den ausgehobenen, genau planierten, durch Stampfen oder Walzen gedichteten Erdkörper ist zunächst eine Betonschicht von einer Mischung 1 : 4 : 6 in etwa 10—15 cm Stärke aufzubringen, naturgemäß unter ausreichender Benetzung des Untergrundes und mit genügendem, das Abbinden sicherndem Wasserzusatze. Die Größe der Betonstärke richtet sich nach der Inanspruchnahme der Straße durch Fuhrwerke, wird aber bei dem modernen Schnellverkehr zweckmäßig möglichst groß zu nehmen sein. Nach etwa 8 Tagen, günstige Witterungsverhältnisse vorausgesetzt, wird der Beton soweit abgebunden, erhärtet und trocken sein, daß die Aufbringung des Asphaltpulvers erfolgen kann. Auf vollkommene Trockenheit des Betons ist ganz besonderes Gewicht zu legen, weil sonst das verdampfende Wasser den Asphaltbelag leicht undicht machen, zum mindesten an seiner Unterfläche Höhlungen, denen später Einsenkungen folgen können, erzeugen würde.

Nach genauester Herstellung und guter Erhärtung des Betonbettes, dessen Oberfläche sich bereits der Quer- und Längsneigung der Straßenoberfläche anpaßt, wird endlich der vorbereitete Asphaltstein in Pulverform aufgebracht und gleichmäßig in einer Höhe, die um etwa 30—40 v. H. die spätere Höhe der zusammengepreßten Schicht übertrifft, eingebaut. Nach Planierung mit einem Richtscheit werden zunächst die Anschlüsse an bereits fertiggestellte Teile komprimiert, worauf die neu eingebaute Fläche durch kleine heiße Walzen geebnet und ein wenig zusammengepreßt wird. Hierauf folgt die eigentliche Stampfarbeit durch kreisförmige, nahe den Bordkanten auch häufig rechteckige, eiserne, stark erhitzte Stampfen, von Hand aus betrieben; ihr folgt meist nochmals ein Übergehen mit einer schweren Walze, dann ein Glätten der Oberfläche durch sehr heiße Plätt- oder Glätteisen, die ein Schmelzen des Bitumens oberflächlich und damit eine vollkommene Wasserdichtheit der Asphaltbahn in ihrem obersten Teile bewirken.

Im Laufe der Zeit wird durch das Befahren, wie Versuche ergeben haben, der Asphalt immer dichter, dabei nimmt naturgemäß aber auch seine Schichthöhe ab. Man kann etwa damit rechnen, daß der frische Stampfasphaltbelag, den man gern 5—6 cm

stark macht, anfänglich ein Raumgewicht von 1,8 in Mitte der Fahrbahn, an den nicht so gut zu walzenden Teilen nahe der Bordkante von 1,7 hat und daß sich diese Gewichte nach mehreren Jahren auf 2,3 bzw. 1,8 stellen; hierbei kann man weiter rechnen, daß die Stärkeverringerung in etwa drei Jahren rd. 1 cm beträgt, später naturgemäß geringer ausfällt.

Bei Reparaturen in Stampfasphalt werden die schadhaften Stellen in regelmäßigen, geradlinig begrenzten Figuren herausgeschnitten, die Anschlüsse gut angewärmt und die Ausbesserungen genau wie Neubauten in normaler Weise ausgeführt. Liegen nur einzelne Vertiefungen in der Oberfläche vor, so kann man hier durch glühende Eisen den Asphalt zum Schmelzen bringen und durch hinzugefügtes heißes Asphaltsteinpulver und Feststampfen dieses, die Vertiefungen auf einfachste Art ausgleichen.

Der beliebteste Asphaltstein für Stampfarbeiten im Straßenbau ist der vom Val de Travers, aber auch andere Asphaltsteine lassen sich hierzu gut verwenden, wenn man nur reines Bitumen in geeigneter Weise mit dem mageren Asphaltstein zu einer gleichmäßigen Mischung verbindet oder allzufetten Asphaltstein in gleicher Art mit fein pulverisiertem Kalkstein vermengt; auch können in demselben Sinne Kalksteinpulver, magerer Asphaltstein und Bitumen zu einem recht guten Stampfasphaltpulver vereinigt werden[1]).

Die großen Vorzüge, welche die Stampfasphaltstraßen besitzen und ihre allgemeine Verwendung in den letzten Jahrzehnten bedingt haben, beruhen darauf, daß auf ihnen weder Schlamm noch Staub erzeugt werden, daß das Wasser in kürzester Zeit abfließt, sie demgemäß schnell wieder trocknen, nur geringer Verkehrslärm entsteht, und wegen der Glätte der Oberfläche wenig Reibung zwischen Fahrzeug und Pflasterung vorhanden ist, günstig für die Ausnutzung der Zugkraft der Tiere und die Beschleunigung des Verkehrs. Eine Gefährdung des letzteren durch die Glätte tritt eigentlich nur bei geringer Feuchtigkeit auf, wobei der Asphalt „schlüpfrig“ wird, ein Zustand, der aber i. d. R. nur von kurzer Dauer ist und mittelst Oberflächenspülung auch abgekürzt werden kann; bei einer stärkeren Neigung der Straße als 1 : 60 macht sich aber der geringe Reibungswiderstand des Asphaltes unangenehm bemerkbar; hier liegt demgemäß die Grenze seiner Anwendung.

Wegen weiterer Fragen, die straßenbautechnischer Art sind, sei auf die Werke des Straßenbaus, sowie auf die Monographie von C. Schmid, Technische Studienhefte, Heft 5, Asphalt, Teer, Öl im Straßenbau verwiesen[2]).

Wegen der Herstellung von Kunststeinen, namentlich Asphaltplatten aus Stampfasphalt sei auf die Ausführungen auf S. 224—227 verwiesen.

b) Die Verwendung des Asphaltes zu Gußasphalt (Asph. coulé).

Zum Verständnisse der Herstellung und Anwendung von Gußasphalt seien zunächst zwei Begriffe klar gelegt: Goudron und Mastix.

---

[1]) Hierbei ist es günstig, die gepulverten Mineralien zunächst mit Wasser zu einem Brei anzurühren und diesem unter Erwärmen das Bitumen zuzusetzen, vgl. das Werk von Dr. Swoboda, S. 102, ein Verfahren, welches von der Deutsch. Asphalt A.-G. in Hannover mitgeteilt wird. Die erhaltene Rohmasse wird endlich an der Luft getrocknet, dann in Retorten zum Austreiben allen Wassers bis auf 110° C erhitzt und wie normaler Asphaltstein weiter behandelt. Auch kann der gepulverte Kalkstein oder Asphaltstein (DRP. 40020) in einem heizbaren Mischapparate mit heißer Kalkmilch und reinem Bitumen vermengt werden; die in Form von Briketts erkaltete, steinartige Masse wird schließlich in Pulverform gemahlen.

[2]) Erschienen bei Karl Wittwer, Stuttgart 1905.

Goudron (Asphaltteer) entsteht einerseits durch Zusammenschmelzen gereinigten Trinidad-Asphaltes mit Bergteer oder den hierfür verwendbaren Ersatzstoffen aus der Steinkohlenteerindustrie, und kann andererseits durch trockene Destillation des bituminösen Schiefers u. dgl. gewonnen werden, ist also im allgemeinen ein ziemlich reines Asphaltbitumen von größerer Härte, glänzender Beschaffenheit und schwarzer Farbe. Es dient in baulicher Hinsicht vorwiegend als Flußmittel für Asphaltstein, der ohne den Goudronzusatz bei Erhitzung sich nur zu einem Pulver umwandeln, aber nicht flüssig werden würde, und wird zudem benutzt, um spröden Asphalt elastisch zu machen. Goudron besitzt eine bedeutende Binde- und Klebkraft, erweicht schon zwischen 40 und 50° C, ist aber bei 15—20° C noch so elastisch, daß hier keine Risse entstehen, auch bei leichteren Stößen kein Zerbrechen eintritt.

Asphaltmastix wird erhalten, wenn man Asphaltgestein mit Goudron oder reinem Naturbitumen zusammenschmilzt[1]). Dies geschieht in großen halbzylindrischen Kesseln, die mit Rührwerken versehen sind, um alle Teile der Masse mit der von außen her erhitzten Mantelfläche des Mischbehälters in Berührung zu bringen und das Ganze gut durchzuarbeiten. In der Regel richtet sich der Goudron- oder Bitumenzusatz danach, daß in dem fertigen Mastix rd. 20 v. H. Bitumen enthalten sind. Der Schmelzvorgang dauert bei einer Kesselfüllung von rd. 3000 kg Inhalt etwa 5—6 Stunden; hierbei ist darauf zu achten, daß die Temperatur nicht unter 175° C liegt, aber auch nicht die Höhe von 225° C überschreitet. Die erstere Grenze reicht aus, um alle leichten Öle zu beseitigen, die sonst später an der Luft verdampfen und die Oberfläche rissig machen würden, während die Innehaltung der oberen Temperatur ein Entweichen der wertvollen, schweren Bitumenöle verhindert.

Nachdem die Masse gut flüssig ist, wird sie aus dem Mischkessel herausgelassen, um in Holz- oder Eisenformen von runder oder sechseckiger Begrenzung zu Mastixbroten von rd. 25 kg Gewicht zu erstarren. Durch erneuten Zusatz von Goudron kann dieser Mastix in eine körnige, matt grauschwarz gefärbte Masse immer wieder umgeschmolzen werden.

Um mit Hülfe von Mastix Gußasphalt (Asphalt coulé) herzustellen, werden die Mastixbrote in faustgroße Stücke zerschlagen und unter Zufügung von 3—4 v. H. Goudron oder gereinigtem Trinidad-Asphalt — auf 1 Mastixbrot genügt rd. $^3/_4$ kg hiervon — sowie 30—40 v. H. reinen Kiesschotters eingeschmolzen; dies erfolgt in fahrbaren[2]) oder feststehenden Kesseln, und zwar in der Art, daß zunächst nur 50 v. H. des Goudron und $^1/_3$ des Mastix, weiterhin erst die anderen $^2/_3$ eingebracht und geschmolzen werden; der Rest an Goudron wird allmählich hinzugefügt, wenn die Schmelzmasse nicht mehr flüssig genug ist. Die Temperatur muß zwischen 150 und 170° C liegen. Nachdem die Mischung gut durchgeschmolzen, wird die erste Hälfte des reinen, erdfreien Kieses von linsen- bis erbsengroßem Korn auf das Asphaltbad aufgebracht, durch dieses vorgewärmt, (wobei auch die Feuchtigkeit aus dem Kiese ausgetrieben wird) und schließlich mit dem

---

[1]) An Stelle von Asphaltgestein kann man auch andere pulverförmige Mineralkörper verwenden, wie Tonschiefer, Basalt, Quarzsand und dgl. Dies wird namentlich alsdann notwendig, wenn man aus bestimmten Gründen einen säurefesten Mastix erhalten will, da naturgemäß ein, unter Verwendung von Asphaltkalkstein hergestellter von Säuren angegriffen bzw. zerstört werden würde; auch spricht u. U. für die Verwendung besonderer Mineralzusätze die Wirtschaftlichkeit des Betriebes ein gewichtiges Wort, wenn die Heranbringung von bitumenreichen Kalksteinen zu große Transportkosten im Gefolge hat.

[2]) Über Asphaltwagen, in denen der geschmolzene fertige Gußasphalt unmittelbar zur Baustelle gebracht wird, vgl. u. a. das Werk von Dr. Swoboda, S. 116 u. flgd.

Bade innigst verrührt; in gleicher Weise wird dann die zweite Hälfte des Kieses, gegebenen Falles unter Zufügung eines verbliebenen Restes von Goudron, eingeführt; im allgemeinen rechnet man im ganzen auf etwa 300 kg Mastix 1/10 cbm Kies. Der notwendige Grad von Flüssigkeit des auf diese Weise erzielten Gußasphaltes zeigt sich darin, daß sich ein in das flüssige Bad hineingestoßener Holzspachtel leicht aus demselben herausziehen läßt und an ihm keine Masse hängen bleibt. Endlich läßt man den Gußasphalt in Eimer laufen, bzw. schöpft ihn mit solchen aus dem feststehenden Kessel und gießt ihn auf die auch hier notwendige, feste und durchaus trockene Beton-Unterlage (1 : 4 : 6) oder eine Ziegelschicht, in Zement verlegt, auf und zwar in Form aneinander schließender Streifen, die durch Streich- und Reibebretter in der gewünschten Stärke geebnet werden; nach Fertigstellung einiger qm wird fortschreitend immer etwas Streusand aufgestreut, um die Oberfläche härter, widerstandsfähiger und weniger glatt zu bekommen[1]).

In der Regel reicht für Bürgersteigbefestigungen u. dgl. eine endgültige Stärke der Gußasphaltschicht von etwa 2 cm aus, während sich für Höfe, Einfahrten u. dgl. 3 bis 4 cm empfehlen; im letzteren Fall ist es durchaus zweckmäßig, die Aufbringung des Gußasphaltes in 2 Schichten auszuführen, naturgemäß mit gegeneinander versetzten Stoßfugen und nach vollkommener Trocknung der untersten Schicht.

Patentamtlich ist ein Verfahren gesichert (Patentinhaber ist die Firma: Otto Pötzsch in Hilbersdorf-Chemnitz), bituminöse Massen im allgemeinen, im besonderen Gußasphalt durch Hinzufügung eines besonderen Härtemehles, d. i. eines präparierten Knochenmehles härter und widerstandsfähiger zu machen. Dieses Mehl, in den geschmolzenen Gußasphalt eingerührt, saugt später beim Erkalten der Masse das zum Einschmelzen erforderliche, sonst aber überschüssige Bitumen begierig auf und durchdringt sich vollkommen mit ihm. Hierdurch wird die Neigung des Gußasphaltes beseitigt, bei starker Erwärmung weniger oder mehr zu erweichen, und somit der Masse größere Zähigkeit und Härte erteilt; alsdann kann der Gußasphalt auch als ein Ersatz für Stampfasphalt angesehen werden. Die notwendige Menge des Härtemehles beträgt bei weichen, fetten Asphalten auf ein Mastixbrot (von rd. 25 kg Gewicht) nur 1/4 kg, während für magere harte Asphalte schon die Hälfte hiervon ausreicht.

Weitere Anwendungen des Gußasphaltes im Bauwesen beziehen sich auf:

α) Das Ausgießen der Fugen bei Stein- oder Holzpflaster[2]); hierbei wird meist Asphaltstein mit Goudron und Steinkohlenteer (bzw. Petroleumteer) zusammengekocht, um eine möglichst flüssige und elastische Masse, auch nach dem bald eintretenden Erstarren zu erhalten.

β) Die Herstellung von Gußplatten von 15 bis 45 mm Stärke für weniger stark durch Verkehr beanspruchte Stellen; ein gutes Anschmiegen der Platte an ihre feste Unterlage wird vielfach durch eine kurze Erwärmung in Wasser erreicht.

γ) Estrichanlagen über Holzfußböden, und zwar unter Verwendung einer diese abdeckenden Lage guter Dachpappe und einer auf diese aufgebrachten Sandschicht von 2 cm Stärke oder auch auf einer, in Zementmörtel verlegten Ziegelflachschicht.

δ) Die Abdeckung von Gewölben gegen eindringende Feuchtigkeit; handelt es sich hierbei um größere Bauten, so wird der Gußasphalt zweckmäßig in zwei Schichten

---

[1]) Über die verschiedenen Verfahren, Gußasphalt unter Verwendung von Goudron und feingemahlenem trockenem Kalk- bzw. Sandstein u. dgl. herzustellen, vgl. das mehrfach erwähnte Werk von Dr. Swoboda, S. 111 u. flgd.

[2]) Das Holzpflaster wird hierbei oft in eine kochende Lösung von Asphalt und Karbolsäure getaucht, um gegen die Angriffe der Atmosphäre gesichert zu sein.

verschiedener Zusammensetzung ausgeführt, einer unteren, durch Zusatz von viel Goudron elastischen, und einer oberen, infolge vermehrten Sandzusatzes härteren und besonders widerstandsfähigen. Während die untere Schicht alsdann den elastischen Bewegungen des Gewölbes, ohne zu reißen, zu folgen vermag, verhindert die obere ein Eindringen der Gewölbeüberschüttungsmaterialien in die Abdeckschicht.

ε) Die Isolierung von Mauern gegen aufsteigende oder seitlich eindringende Feuchtigkeit. Die hier verwendeten, hochwichtigen Isolierschichten werden meist aus Gußasphalt gebildet, der sich aus 5 Gew.-T. Mastix, 1—1,5 Gew.-T. Goudron und 2 Gew.-T. Sand zusammensetzt und in 1—2 cm Stärke als wagerechte Fuge oder seitlicher Verputz aufgebracht wird; auch kann man bei starkem Feuchtigkeitsandrange von der Seite her eine dünne, vollkommen in Gußasphalt gemauerte Schutzmauer aufführen und den engen Raum zwischen ihr und der Gebäudemauer mit Asphalt ausgießen.

Hier ist auch die Biehnsche Dichtung[1]) zu erwähnen, bestehend aus einem südamerikanischen, sehr zähen Erdpech, das in zäher Konsistenz in den Bau in mehreren Lagen eingebracht und durch zwischengelegte Dachpappenschichten besonders gesichert wird. Die Dichtung hat sich bei sehr hohem Wasserdrucke und starkem Wasserandrange bestens bewährt; sie ist dauernd hochelastisch, rißfrei und unzerstörbar.

ζ) Das Imprägnieren poröser Steine, um sie zwecks späterer Verwendung als Isolationsmaterial wasserundurchlässig zu machen, — vgl. hierzu auch das Kapitel über Korksteine und deren Behandlung mit einem Asphaltüberzuge.

η) Die Herstellung von Asphaltbeton, gebildet durch Einführung von etwa 50 bis 60 v. H. (Gew.-T.) groben Kieses oder Steinklarschlages in den auf rd. 180—200° C erhitzten Mastix. Der namentlich für Maschinenfundamente sehr elastische, schalldämpfende Beton erlangt bald nach seiner Erhärtung eine Druckfestigkeit von etwa 300 kg/qcm.

ϑ) Die Erzeugung von Asphalt Dachpappe und Asphaltfilzplatten. Während auf die Dachpappe weiterhin in § 102 eingegangen wird, sei hier nur der Asphaltfilzplatten besonders Erwähnung getan, welche aus Wollfilz mit einer vollkommenen Durchtränkung von Asphalt- und Steinkohlenteer bestehen, i. d. R. 5—10 mm stark sind und wegen ihrer großen Zugfestigkeit sich zu Isolationsarbeiten allgemein eignen; sie werden in Rollen und in Plattenform geliefert, vielfach mit Falzen an den Seiten, um ein gutes Übergreifen der oberen Platte über die untere zu sichern. Ihre vollkommene Wasserdichtheit erlangen sie i. d. R. erst durch einen Asphaltteeranstrich nach dem Verlegen, der an den Stößen zweckmäßig doppelt zur Ausführung gebracht wird.

Für die Sicherung von Gebäudemauern gegenüber der Grundfeuchtigkeit werden diese Asphaltfilzplatten in Längen von 5 und mehr m und in Breiten geliefert zwischen 25 cm und 100 cm, welche den normalen Mauerwerkstärken entsprechen. Bei Verwendung dieser „Asphaltisolierplatten“ in Rollen ist mit leichtem Transport und bequemer Handhabung der Vorzug verbunden, daß jede Schneide- und Abpaßarbeit auf der Baustelle entfällt und demgemäß die Verlegekosten auf ein Mindestmaß gebracht werden[2]).

Ähnliche hierher gehörende Baustoffe sind: Tectolith[3]) und Pachytect[4]); ersteres besteht aus einem starken, imprägnierten Gewebe, das beiderseits mit einer starken Schicht reinen Asphaltes bedeckt ist und in Normallängen von 10—20 m bei

---

[1]) Verfahren von H. Biehn in Berlin.

[2]) Über Asphaltplatten usw. vgl. u. a. die Broschüren der auf diesem Gebiete bestens bekannten Firma: Büsscher u. Hoffmann, Eberswalde u. Halle a. S.

[3]) Hergestellt von der Kölner Dachpappen-, Asphalt- und Teerprodukten-Fabrik C. T. Beer Söhne.

[4]) Hergestellt von der Firma Malchow in Leopoldshall bei Staßfurt.

einer Breite von 1 m und 5—8 mm Stärke geliefert wird, während letzteres, dem vorgenannten entsprechend, ein als besonders widerstandsfähig bezeichnetes, in Platten- und Rollenform geliefertes, sehr schmiegsames Abdeckungsmaterial usw. ist.

ι) Das Überziehen von eisernen Rohren, überhaupt eisernen Gebrauchsgegenständen, namentlich der Wasserversorgung und Entwässerung. Hierbei werden die mit dem Anstriche zu versehenden Eisenteile erhitzt und entweder in den dünnflüssigen Mastixbrei getaucht oder mit letzterem gestrichen.

Über die Sybelschen Asphaltbleiplatten vgl. S. 560.

ϰ) Erzeugung asphaltierter Papierröhren, gebildet aus einer Anzahl von übereinander liegender und durch eine Tränkung in Asphalt miteinander verklebter Papierlagen. Derartige Rohre, die schließlich außen und innen nochmals asphaltiert werden, sind verhältnismäßig billig, sehr fest[1]) und undurchlässig und daher zu Isolierarbeiten, namentlich für die Durchführung elektrischer Leitungen, gut geeignet.

λ) Schließlich gehört hierher auch der Dr. Büttnersche Asphaltin-Straßenbelag, der der Bindung von Staub auf den Straßen usw., ähnlich wie das Teeren dieser, dienen soll. Hierbei wird zunächst die Schotterstraße mit Erdöl getränkt, nach dessen Eindringen eine Walzung mit Riffelwalzen folgt; in die von diesen in die Straßenfläche eingearbeiteten Vertiefungen wird schließlich eine möglichst heiße Lösung von gewöhnlichem Naturasphalt mit rohem Erdöl, Massut u. dgl. aufgebracht, geebnet und nach völligem Erkalten festgewalzt. Der Vorzug dieser Straßenimprägnierung soll neben den Vorzügen der Asphaltstraßen in sehr geringen Bau- und Unterhaltungskosten liegen. Bei Makadam-Straßen werden die ersteren in den ersten drei Jahren zu rd. 1—1,5 Mk./qm angegeben, während für die Unterhaltungskosten maßgebend ist, daß später nur etwa alle 10 Jahre eine Neutränkung notwendig wird.

In gleicher Weise wie Schotterstraßen kann man auch zum Zwecke der Staubbeseitigung Pflaster- und selbst Asphaltstraßen mit heißem Asphaltin mittelst Besen streichen.

c) Die Benutzung des Asphaltes zur Herstellung von Lacken, Farben u. dgl.

Asphaltlacke, die namentlich gut zum Schutze von Metallen gegenüber den atmosphärischen Einflüssen sind, werden aus reinem Naturasphalt, namentlich dem Syrischen, dem von Utah (Gilsonit-Asphalt) und Barbados (Manjak-Asphalt) durch Auflösung in Terpentinöl oder Benzol mit oder ohne Zusatz von einfach oder zweifach gekochtem Leinöl gewonnen. Auch können für weniger gute Lacke Petroleum, Teeröl, Benzin mit Zusatz trocknender Öle als Lösemittel Benutzung finden. Die Herstellung erfolgt entweder auf kaltem Wege unter Verwendung von Schüttelapparaten oder auf warmem unter Schmelzung des Asphalts, Zusatz der Lösungsmittel und Abgießen des oben sich absetzenden Lackes. Für besonders gute Lacke wird auch Kautschuklösung zugesetzt.

Ein ähnlicher Lack kann auch durch Ersetzung des Asphaltes durch Steinkohlenteer, alsdann unter Zusatz von Harz (Kolophonium) gewonnen werden; er wird vielfach als „Pechlack“ zum Anstrich von Öfen und Rohren verwendet; schließlich können Lacke durch Asphalt- und Teerbeimengungen zu den verschiedensten Lösungsstoffen und aus Harzen als Teerasphaltlacke hergestellt werden.

Die meist kräftig glänzenden, sehr beständigen und tiefschwarzen Lacke finden, neben der Benutzung zu Metallschutzanstrichen, Verwendung zur Konservierung von Holz,

---

[1]) Durch Versuche ist erwiesen, daß derartige asphaltierte Papierrohre von 15 cm innerem Durchmesser erst bei einem inneren Druck von 28—30 Atm. zerbersten.

zum Schutze von dem Schlagregen ausgesetzten Wänden, zum Dichten von Behälterinnenwandungen usw.

Wird Asphalt in Alkohol geschüttelt und dann in Öl aufgelöst, so entsteht eine braune Lasurfarbe von warmem Farbton — Asphaltbraun —, die in der Malerei vielfach Benutzung findet.

Künstlicher Asphalt.

Unter künstlichem Asphalt versteht man eine Mischung aus Teer, meist Steinkohlenteer, aber auch Holz- oder Braunkohlenteer, mit feingemahlenen Kalksteinen (bzw. Kreide), scharfem trockenem Sande, u. U. auch etwas Naturasphalt, hin und wieder mit Zusätzen von Eisenoxyd, Wasserglas und ähnlichem; auch aus Steinkohlenteer, Schwefel, Chlorkalk und granulierter Hochofenschlacke hat man künstlichen Asphalt gewonnen.

In den meisten Fällen wird bei der Erzeugung dieses Ersatzstoffes aus dem Steinkohlenteer durch Abdestillieren der leichteren Stoffe eine pechähnliche Masse erzeugt, die dann in erhitztem Zustande mit den vorgenannten Zusätzen vermengt wird. In ähnlicher Weise kann man Mastix durch Teer oder die dickflüssigen Rückstände der Petroleumdestillation und gereinigten Naturasphalt, ferner Gußasphalt, durch geringe Mengen Petroleumteer, Asphalt-Bitumen und reinen Sand ersetzen. Über die Nachbildung von Stampfasphalt auf ähnlichem Wege vgl. die Ausführungen auf Seite 714 und Anm. 2.

Die Verwendung dieser vielfach brauchbaren Ersatzmittel für den Naturasphalt und seine Abarten und Anwendungsformen ist die gleiche wie beim Naturprodukte. Über die Methoden, von ihm die Asphalte mit Teerzusatz zu unterscheiden, vgl. die Ausführungen auf Seite 710 in Anmerkung 1.

In Amerika wird vielfach[1]) ein künstliches Sandasphaltpflaster, selbst in den verkehrsreichsten Straßen der Großstädte verwendet. Zu diesem wird als Rohstoff i. d. R. Bermuda-, Trinidad- oder Kuba-Asphalt verwendet, der zunächst gereinigt und dann mit schwerflüssigem Petroleum in warmem Zustande vermengt wird. Zu dieser Mischung wird Sand und Steinstaub gemischt, und zwar im Verhältnisse 15—20 Asphalt zu 85—90 Sand usw. Um eines gleichmäßigen und guten Materials sicher sein zu können, wird jeder Asphalt vor und während seiner Verwendung durch eine chemische und mechanische Prüfung kontrolliert. Der Unterbau dieser Kunstasphaltstraßen besteht aus einer 10—15 cm starken Betonschicht; auf sie wird als Zwischenlage, also unter dem Asphalt, der sogenannte „Binder“ aufgebracht, der dazu dienen soll, die Fahrbahndecke in fester Verbindung mit dem Beton zu bringen und zugleich ein Welligwerden der Asphaltoberfläche bei Temperaturschwankungen und hohem Lastübergange verhüten soll. Dieser Binder besteht aus Kleinschlag von 1—2 cm Größe, der mit einer flüssigen Mischung von Asphalt maschinell vermengt, noch warm auf dem Betonbette aufgebracht, dann ausgebreitet und zu einer Höhe von etwa 3,5 cm festgewalzt wird. Auf den so vor-

[1]) Vgl. die Zeitschr. d. Verb. Deutscher Arch.- u. Ing.-Vereine. 1912. S. 97 u. flgd. Aufsatz von Kayser-Darmstadt. Auch in Deutschland wird ein ähnliches Pflaster von der Asphalt-Straßenbau Ges. m. b. H. Charlottenburg, und zwar auf kaltem Wege, hergestellt. Hier wird das durch ein patentiertes Verfahren aus dem Naturasphalt gewonnene reine Bitumen unter Beimischung von Sand, Feinschlag und bestimmten Härtungszusätzen zur Erzeugung von Asphaltdecken verwendet. Siehe vorgen. Zeitschr. 1912. S. 196.

bereiteten Unterbau wird endlich die Asphalt-Sand-Deckschicht aufgebracht und mit Handstampfen und heißen Walzen gefestigt.

Auch kann man mit Hilfe des „Binders“ u. U. Asphaltpflaster unmittelbar auf gepflasterten oder chaussierten Straßen aufbringen.

Endlich verdient im Anschlusse an die Verwendung von Asphalt zur Herstellung der Straßenoberflächen noch die Heranziehung von Teer, Teerölen, Petroleumrückständen u. dgl.[1]) zur Imprägnierung von chaussierten Straßenoberflächen Erwähnung.

Diese Tränkung erfolgt in erster Linie, um die Staubbelästigung zu beseitigen eine Forderung, die namentlich von dem neuzeitlichen Schnellverkehr mit Recht erhoben worden ist. Es sei aus dem Grenzgebiete des Straßenbaues kurz erwähnt, daß die Teerung der Straße zunächst eine nur oberflächliche sein kann, wobei allerdings darauf zu achten ist, daß vor Aufbringung des heißen Teers die Straße vollkommen trocken ist, da in eine feuchte Oberfläche der Teer nicht einzudringen vermag; hierin aber liegt eine große Schwierigkeit für die allgemeine Durchführung einer derartigen, nur oberflächlichen Tränkung. Es kommt hinzu, daß auch die Straße neu gebaut bzw. chaussiert sein muß, da eine verstaubte und abgenutzte Schotterdecke den Teer in nur geringem Maße einsickern läßt und endlich, aus ähnlichem Grunde, die Straße nur mit reinem scharfem Sande eingewalzt sein darf, da jede lehmige Beimengung wiederum das Eindringen des Teeres ausschließt.

Ähnliche Schwierigkeiten liegen auch bei einer Innenteerung, d. h. der Ausführung der Straße mit geteertem Schotter vor, da auch hier jeder Regenguß während der Bauausführung empfindlich stört und das Gelingen der Arbeit in Frage stellen kann, ganz abgesehen davon, daß das Überziehen der Schottersteine mit Teer, Teerpech und ähnlichen Stoffen erhebliche Zeit in Anspruch nimmt, die Bauarbeit also nicht in erwünschtem Maße gefördert werden kann. Die Schädigung der Innenteerung durch Wasser hat dann weiter zum Zusatz einer Harzseife zum Teer geführt, wodurch letzterem die Eigenschaft verliehen wird, sich in Wasser zu feinen, nicht zusammenfließenden Tröpfchen zu lösen, d. h. eine Emulsion zu bilden; da letztere aber durch den Regen fortgespült wird, verringert sich im Laufe der Zeit der Gehalt der Straße an öligen, den Staub zurückhaltenden Bestandteilen, womit dann wieder die vermehrte Bildung von Staub bei trockenem Wetter, von Schlamm bei feuchter Witterung Hand in Hand geht. Erheblich günstiger wirkt für Schotterstraßen das Kiton-Verfahren, bei welchem dem Teer die Emulgierbarkeit durch Zusatz einer geringen Menge fetten Tones verliehen wird, wodurch ein Gemisch entsteht, das vom Wasser während des Einbaues nicht gestört wird, und nach dem Eintrocknen von Wasser unbenetzbar und unangreifbar ist; hierbei macht der Ton den Teer wasserbeständig und wasserfest. „Kiton“ wird in Rührwerken durch Zusammenmischen eines besonders vorgerichteten Teers[2]) (60 v. H.) mit Ton (10 v. H.) und Wasser (30 v. H.) erzeugt; es hat die Eigenschaft sich mit Wasser leicht zu einer schwarzen Milch zu vereinigen und aus dieser sich als fein verteiltes Pulver abzusetzen, das aber bei erneuertem Umrühren gleich wieder in Emulsion übergeht[3]). Zum Einwalzen einer Landstraße

---

[1]) Namentlich in Amerika werden die schweren Öle, welche beim Reinigen des Petroleums als Rückstände verbleiben, zur Straßenteerung viel verwendet. In Deutschland sind diese Öle zu teuer.

[2]) Verwendet wird destillierter und hierdurch von seinen leichten Ölen befreiter und pechartig gewordener Gasteer.

[3]) Kiton wird in eisernen Büchsen von 100 kg Gewicht oder in Holzfässern von 200 kg von seiten der Firma Kitonfabrik Dr. F. Raschig in Ludwigshafen a. Rh. in den Handel gebracht.

nach dem Kiton-Verfahren wird Kiton auf der Baustelle mit Wasser angemengt, und die so entstehende Milch beim Einwalzen des Deckmaterials zum Einschlämmen des Bindemittels benutzt; im übrigen bleibt die Herstellung der Schotterdecke die normale.

Auf das dem gleichen Zwecke mit bestem Erfolg dienende Pyknoton-Verfahren, welches Traß und Teer verwendet, wurde schon auf Seite 700—701 eingegangen.

§ 101. Die verschiedenen, im Bauwesen gebräuchlichen Kittarten.

Unter Kitt wird ein flüssiger oder breiartiger Stoff verstanden, welcher zwei Flächen gleichartiger oder verschiedener Materialien, im vorliegenden Falle Baustoffe durch seine Erhärtung in eine feste, meist auch dauernde Verbindung bringt. In dieser Hinsicht steht also der Kitt dem Mörtel nahe; er ist ihm ferner auch darin verwandt, da sehr oft bei seinem Erhärten chemische Einflüsse mitsprechen.

Damit ein Kitt gut wirksam wird, sind die zu verbindenden Flächen zunächst vollkommen zu reinigen, i. d. R. auch zu trocknen, oft auch aufzurauhen. Wird der Kitt warm aufgetragen, so sind die zu vereinigenden Teile auch zu erwärmen. Nach den im Kitt wirksamsten Bestandteilen unterscheidet man: 1. Leimkitte, 2. Kalkkitte, 3. Magnesiakitte, 4. Ölkitte, 5. Harz- und Kautschukkitte, 6. Asphaltkitte, 7. Eisenkitte, 8. Wasserglaskitte, 9. Asbestkitte.

1. Leimkitte. Ihr Hauptbestandteil wird durch tierischen Leim, Gummiarabikum, Stärkekleister u. dgl. gebildet; sie finden bauliche Verwendung zum Ankleben von Tapeten, zum Verbinden von Holzteilen u. dgl., halten sich im Trocknen gut, erweichen aber im Feuchten, wenn man ihnen hiergegen nicht Terpentin oder Leinölfirnis zufügt. Als besondere, allgemeiner verwendete Arten sind zu nennen:

Holzleim, hergestellt aus 1 Gew.-T. Leim, der mit dem etwa vierfachen Gewichte von Wasser zu einer dicken Klebemasse verkocht wird, und den man dann nochmals unter Hinzufügung von 0,55 Gew.-T. Leinölfirnis unter kräftigem Umrühren kocht. Der Kitt ist heiß auf die ebenfalls erwärmten Holzflächen aufzutragen; auch eignet sich dieser Kitt zur Verbindung von Metall- und Glasflächen.

Kitt zum Ausfüllen von Rissen im Holz. Es werden 14 Gew.-T. Wasser mit 1 Gew.-T. Leim zusammengekocht und der halberstarrten Masse eine Mischung aus 1 T. Sägespänen und 1 T. gemahlener Kreide so weit zugefügt, bis der Kitt dickflüssig ist; zum gleichen Zwecke kann man auch Gipsmehl (gebrannt), in Leimwasser angemacht, verwenden, vgl. S. 180.

Tapetenkleister. Hier werden 1 Gew.-T. Stärkemehl in 10 T. Wasser mit 1 v. H. Borax oder Alaun kurz zusammengekocht. Die letzteren beiden Beimischungen verhindern ein Faulen des Kleisters. Durch Zusatz von Terpentin vor dem Einkochen wird der Kleister gegen Feuchtigkeit erheblich widerstandsfähiger.

2. Kalkkitte. Sie bestehen meist aus in Staubform zerfallenem, ungelöschtem oder gelöschtem Kalk (1/4 Gew.-T.), Quark (1 Gew.-T.), Quarzsand, Ziegelmehl oder dgl., u. U. auch noch aus Leim; sie erhärten i. d. R. schnell, haben die Dichte steifen Mörtels und sind bald nach ihrer Bereitung zu erwenden; hierbei sind die zu verbindenden Flächen gut mit Wasser anzunetzen. Der Quarzsand usw. — gewöhnlich im Gewichte gleich dem Kalk — hat den Zweck, dem Kitt mehr Masse zu verleihen. Als wichtigere Abarten sind zu nennen:

Casein- (Käse-) Kitt. Ungelöschter, staubförmiger Kalk wird mit frischem, ausgepreßtem Quark innig zusammengerieben und der Mischung soviel Wasser zugesetzt, daß eine dickbreiige Masse entsteht, die sich besonders gut zum Verkitten von Holzteilen eignet, daneben auch für Steine verwendet wird; einen ähnlichen Kitt kann man auch aus gelöschtem Weißkalk, Quark und Borax, sowie aus frischgebranntem Kalk, Quarzsand und Käsestoff gewinnen; auch entsteht ein vorzüglicher Holzkitt durch Vereinigung von gepulvertem, gebrannten Kalk, Quark und Eiweiß, während für die Verbindung von Holz und Stein oder Steinen untereinander Zementmehl, mit etwa $^1/_4$ seines Gewichtes an Ziegelmehl gemischt und mit saurer Milch zu einem zähen Teige angerührt, einen vorzüglichen, sehr harten, auch unter Wasser beständigen Kitt liefert.

3. Magnesiakitte. Hierüber vgl. die Ausführungen auf S. 202 über den Sorelschen Zement. Ähnlich — namentlich in chemischer Hinsicht — entsteht ein Kitt durch Einrühren von Zinkoxyd in eine gut konzentrierte Lösung von Chlorzink; auch hier beruht das Erstarren des steinhart werdenden Kittes auf der Bildung eines (Zink-)Oxychlorids. Die Masse eignet sich auch gut zum Einkitten von Eisen in Stein.

4. Ölkitte. Diese setzen sich zusammen aus Leinöl oder Leinölfirnis mit geschlämmter Kreide oder an deren Stelle Bleiglätte, Mennige, Zinkweiß, nebst die Masse vergrößernden und zur größeren Endhärte beitragenden Stoffen wie Ziegelmehl, pulverisiertem Glase, feinem Quarzsande usw. Die Kitte sind wasserdicht und zu sehr verschiedenartiger Verwendung geeignet; ihre Erhärtung beruht meist auf der Bildung von settsauren Verbindungen. Hervorhebenswert ist:

Glaserkitt. Er besteht aus gekochtem Leinöl und Schlämmkreide; zum schnellen Erhärten setzt man gern etwas Bleiglätte oder Mennige zu. Durch Verwendung ungekochten Leinöls wird die Erhärtung zwar zunächst verlangsamt, später aber sehr vergrößert. Soll der Kitt später einmal beseitigt werden, so läßt sich dies durch wiederholtes Bestreichen mit Kalilauge beschleunigen.

Steinkitt. Bleiglätte und Quarzsand — oder Ziegelmehl — werden zu gleichen Teilen vermengt und mit heißem Leinölfirnis zu einem Brei vereinigt, der warm verwendet wird. Dem gleichen Zwecke dient eine Mischung aus fein gestoßenem Glase, Ziegelmehl, Eisenfeilspänen und Leinöl.

Gasrohrkitt. Entweder wird Mennige mit Leinölfirnis zu einem dünnen Brei angemengt oder der Kitt aus Bleiglätte, gelöschtem Kalke, feinem Sande und heißem Leinölfirnis zusammengesetzt.

Dampfleitungskitt. Dieser Kitt besteht aus der Vermischung von 1 T. Mennige, 2 T. Bleiweiß, 1 T. Teer in gekochtem Leinöl.

Holzkitt. Pulverförmiges Kalkhydrat wird mit Roggenmehl und Leinölfirnis vereinigt, oder letzterer für sich allein mit Sägespänen vermischt. Entsprechend den in Frage stehenden Holzarten sind Farbzusätze üblich.

Kreyescher Ölzementkitt. Er besteht aus Chamottemehl (5 kg), gemahlener Bleiglätte (0,45 kg) und 1 l heißem Leinöl, u. U. auch Farbzusatz (Bolus, Mennige, Terra di Siena usf.); er findet auf vorher mit heißem Leinöl gestrichenen, festen Unterlagen zur Erzeugung von künstlichen, steinartigen, sehr widerstandsfähigen Belägen von nur wenigen mm Stärke Anwendung. Da die Masse sehr schnell erhärtet, darf ihre Zusammenmengung erst kurz vor der Verwendung geschehen.

Hierher gehören auch Glyzerinkitte, hergestellt aus Bleiglätte und verdünntem Glyzerin, die gegen Laugen und Säuren gleich unempfindlich sind.

5. Harz- und Kautschukkitte. Sie setzen sich vorwiegend aus Kolophonium oder Schellack, Mastix, Pech und ähnlichen Stoffen zusammen, die leicht durch Erstarren

aus dem warmen und weichen Zustande erhärten und deshalb zunächst bis zum Schmelzen erhitzt werden müssen; entsprechend sind auch die zu verkittenden Teile zu erwärmen. Größere Masse verleiht man diesen Kitten neben vergrößerter Härte durch Zusätze von feinem Sand, Ziegelmehl, Kalksteinpulver u. dgl. Durch Hinzufügung von Wachs, Terpentin, auch reinem Bitumen verlieren die Harze ihre Sprödigkeit. Harzkitte sind widerstandsfähig gegen Wasser, auch gegen Säure, aber naturgemäß nicht bei höheren Temperaturen beständig; sie finden Anwendung im Baufach vorwiegend zum Kitten von Steinen, auch zum Dichten von Mauerwerk, seltener zur Verbindung von Stein mit Holz und Eisen. Als bemerkenswert seien genannt:

Steinkitt. Zu seiner Bildung dienen Kolophonium mit Wachs und Gipspulver, oder Marmorstaub mit Schellacklösung (zum Kitten und Verkleben der Ritzen in Kalksteinen, Marmor usw.) oder Schellack mit Bimssteinpulver, oder Kolophonium bzw. Pech, Wachs, Terpentin mit Ziegelmehl usf.

Holzkitt. Kautschuk und Schellack werden im gleichen Gewichte in Schwefelkohlenstoff (oder Steinöl) gelöst, erwärmt und gut vermengt (Marineleim, wassersicher, bei Gebrauch auf 140° C zu erwärmen). Zum Ausfüllen von Astlöchern, Fugen und Rissen im Holzwerk, namentlich Fensterrahmen, dient ein Kitt aus gleichen Gewichtsteilen von Kolophonium mit Terpentin und dem doppelten Gewichte feingeschlämmten Ockers. Der steinhart werdende Kitt ist warm zu verwenden; endlich sei noch ein unter Wasser verwendbarer Kitt erwähnt, der durch Lösung von Kautschuk in Steinöl und Vermischung mit Schellack und ein Zusammenkochen dieser drei Bestandteile gebildet wird.

Kitt für eiserne Rohre. Dieser kann z. B. bestehen aus gleichen Gewichtsteilen Harz und getrockneter Schlämmkreide, die mit Zusatz von etwas Wachs zusammengeschmolzen werden.

Hierher ist auch der Rubberzement von Hetzel, ein amerikanischer, in Deutschland eingeführter, wetterbeständiger, niemals ganz erhärtender, also dauernd elastisch bleibender Kitt zu zählen. Er findet Anwendung zum Dichten und Kitten von Holz, Stein, Metall, Glas, namentlich zum Abdichten von Gasrohrgelenken, als Glaserkitt, zum Verkleben der einzelnen Dachschieferplatten untereinander[1]), für Zink- oder Bleidachdichtungen, Rinnen usw. Auch zur dauerhaften Wiederherstellung letzterer kann (an Stelle von Lötungen) der Kitt benutzt werden.

6. Asphaltkitte. Der i. d. R. aus Mastix und Bitumen sowie Steinkohlen- bzw. Petroleumteer zusammengesetzte Kitt dient neben dem Ausgießen von Fugen im Pflaster und im Bürgersteige, vorwiegend zum Dichten von Rohrleitungen, da er gegen Wasser und Säuren vollkommen widerstandsfähig ist und ein leichtes Ausschmelzen bei einer späteren Auseinandernahme der Leitung wegen seines tiefliegenden Schmelzpunktes gestattet; auch kommt hierbei als besonders günstig in Frage, daß der Kitt in geschmolzenem Zustande sehr flüssig ist und mithin alle Teile des Hohlraumes gut ausfüllt und somit die Kittstelle sehr dicht schließt. Dabei bleibt er aber nach seiner Erhärtung noch ziemlich elastisch, gestattet also auch elastische usw. Bewegungen der verbundenen Teile; dies ist gerade für im Erdreich ruhende Leitungen von besonderer Bedeutung.

Ein Stein-Asphaltkitt wird durch Pulverisieren von Mastix und Bleiweiß und Zusammenschmelzen dieser Mischung mit Wachs gewonnen.

[1]) Dies ist in Amerika üblich, damit wenn die Nagelung versagen sollte, immer noch der Zementkitt die Dachplatten festhält. Die Generalvertretung liegt in der Hand von C. Schilling Mannheim.

Zu den Asphaltkitten gehören auch die Meißnerschen bestens bewährten Dichtungs-Mörtel[1]) zur Abdeckung und Ausbesserung von Mauerwerk, Zementbeton, als Kitt für den Eisenbau, für Tonrohre usf.

7. Eisenkitte. Die hierher gehörenden Kitte dienen einerseits zum Dichten von Eisen mit Eisen, Verschmieren der Fugen von eisernen Öfen, Dichten von Rohren, Behältern (1) als auch zum Verkitten von Stein und Eisen (2). Hier sind zu nennen für das erstere Verwendungsgebiet:

Rohrkitt für Wasserleitungs-, Dampfrohre usw. Vielfach findet Verwendung eine Mischung aus rostfreien Eisenfeilspänen, Salmiak und Schwefelblume, die vor dem Gebrauche mit Essig und Wasser zu einem steifen Brei angerührt werden, der in die Fugen eingepreßt wird; für Kitt, der der Glühhitze ausgesetzt ist, verwendet man Eisenfeilspäne, Töpferton, Porzellankapselscherben fein gemahlen (oder feuerfesten Ton), in eine gesättigte Kochsalzlösung eingebracht. Sind die Rohre der Wärme und Nässe, jedoch nicht unmittelbar dem Feuer ausgesetzt, so empfiehlt sich ein Kitt aus: 2 T. Mennige, 5 T. Bleiweiß und 4 T. trockenem feinem Ton, die miteinander innig vermengt und mit Leinölfirnis zu einem steifen Brei verarbeitet werden. Für stärker zu heizende eiserne Öfen benutzt man für den Kitt zum Verstreichen der Fugen eine Mischung aus Lehm, Sand, Eisenfeilspänen, Salz bzw. aus feingesiebter Holzasche, fein zerstoßenem Lehm, etwas Salz und Wasser.

Hierher gehört auch u. a. der Metallzement von Bassermann in Mannheim, ein nach Erwärmung ganz flüssiger Kitt, der in wenigen Minuten zu einer sehr harten bis 1000 kg/qcm Druckfestigkeit aufweisenden, nicht schwindenden, gegen Säure, Wasser, Öl usw. durchaus widerstandsfähigen Masse erhärtet, sowie das Spencemetall, ein Gemisch von Schwefeleisen, Schwefelzink und Schwefel, das bei 160° C flüssig ist und sich gut zum Vergießen von Rohren u. dgl. eignet.

Für den zweiten Zweck, der Befestigung von Eisen in Stein finden sich zwar mancherlei Vorschriften für die Herstellung von Kitten angegeben; auf diese soll aber deshalb nicht besonders eingegangen werden, weil sie sich vielfach nicht bewährt, namentlich nicht volumbeständig erzeigt haben (vorwiegend bei Gegenwart von Schwefel), und stets besser durch Zementmörtel ersetzt werden, der das beste und dauerhafteste Material zum Befestigen von Eisen im Stein darstellt.

8. Wasserglaskitte. Dieselben finden baulich namentlich zum Verkitten von Steinen, Ausfüllen etwaiger Sprünge usw. Verwendung, und zwar meist in der Art, daß Wasserglas (Natron oder Kalisilikat) mit Zement oder Zinkstaub, auch Kreide zu einem schnell erstarrenden Brei vermischt wird.

9. Asbestkitte. Hier wäre als den Kitten nahestehend, wenn auch mehr zu den Mörteln gehörend, der als besonders wetter- und feuersicher erprobte und demgemäß als sehr guter Schutz von Eisenkonstruktionen aller Art bewährte Kühleweinsche Asbestzement zu nennen (hergestellt von den Asbest-Zement-Werken Hamburg); schon eine Schichtstärke von 1,5 cm Dicke reicht aus, um selbst einem großen Schadenfeuer erfolgreich Widerstand zu leisten. Das zementähnliche Pulver ist mit Wasser zu einem dichten Brei zu verrühren und ohne Sand zu verarbeiten.

Ein eigentlicher Asbestkitt entsteht durch Zusammenmengung von Asbestfasern, gemahlener Mennige und Anmachen mit wenig Leinöl zu einem sehr dicken Teige, der ein sehr langes und gutes Durcharbeiten erfordert.

[1]) Hergestellt von der Pommerschen Asphalt- und Steinpappenfabrik von W. Meißner, Stargard.

Literatur-Nachweisung

zu Kapitel XXX.

1. R. Krüger, Handbuch der Baustofflehre. 2. Band. A. Hartlebens Verlag. 1899. § 237 Asphalt, § 258 Kitte.
2. Handbuch der Architektur. Verlag Alfred Kröner. Stuttgart. Erster Band. 1. Heft. Asphalt S. 301 u. ff.
3. E. Gerhardt, Baustoffkunde. Verlag Otto Spamer. Leipzig. 1912. Abschnitt II. Asphaltarbeiten. S. 83—86.
4. J. T. Zetter, Der Asphalt und seine Verwendung in der Bautechnik. Zürich. Druck von Orell-Füßli & Cie. 1880.
5. F. Lindenberg, Die Asphaltindustustrie. Hartelebens Verlag.
6. Dr. Swoboda, Der Asphalt und seine Verwendung. Verlag von L. Voß. Hamburg-Leipzig. 1904.
7. C. Schmid, Technische Studienhefte. Heft 5. Asphalt, Teer, Öl im Straßenbau. Verlag K. Wittwer. Stuttgart.
8. Dr. H. Köhler, Die Chemie und Technologie der natürlichen und künstlichen Asphalte. Braunschweig. Verlag Fr. Vieweg & Sohn. 1904.
9. E. Feltone, Isoliermaterialien und Wärme- (Kälte-) Schutzmassen. Hartlebens Verlag. 1903.
10. A. Forstner, Die künstliche Kühlung. Isolation gegen Feuchtigkeit und für Elektrizität. A. Hartlebens Verlag. 1903.
11. E. Dietrich, Die Baumaterialien der Asphaltstraßen. Berlin. Verlag J. Bohne. 1881.
12. F. Woas, Der Asphalt, seine Geschichte, Gewinnung und Verwendung. Berlin. 1880.
13. Pinkenburg, Das Asphaltgewerbe in Deutschland. D. B. 1887. S. 554, 570.
14. H. Hauenschild, Der Asphalt und seine Wertbestimmung. Deutsche Töpfer- und Ziegler-Zeitung.
15. Asphalt- und Teerindustrie-Zeitung Berlin. Erscheint seit 1901.
16. Prüfung von künstlichem Asphalt. D. B. 1897. S. 451.
17. R. Zinck, Informationen über Asphalt. Herausgegeben vom Hamburger Asphaltwerk. 1896. Hamburg.
18. Staubfreie Straßen (Kiton-Verfahren). Broschüre von Dr. F. Raschig. Ludwigshafen a. Rh.

III. Abschnitt.

Nebenbaustoffe
namentlich solche für Dachdeckung und inneren Ausbau.

Kapitel XXXI.

Dachpappe, Holzzement, Ruberoid, Linoleum, Rohr und verwandte Stoffe.

§ 102. Dachpappe und verwandte Erzeugnisse.

Die meist verwendete Dachpappe besteht aus einer guten Rohpappe, die mit Steinkohlenteer bzw. zu diesem noch besonders gefügten Zusätzen vollkommen getränkt ist. Die Rohpappen sind um so besser, je mehr sie Wollfasern und je weniger sie pflanzliche Bestandteile enthalten; sie werden demgemäß zweckmäßig für die spätere Verwendung zu Dachpappe aus wollenen Lumpen, Papierabfällen usw. gewonnen, die zerrissen und alsdann in Holländern und Papiermaschienen verarbeitet werden; naturgemäß müssen die Pappen wegen ihrer späteren Imprägnierung ungeleimt sein. Beim Durchbrechen sollen die Rohpappen ein langfaseriges, stark verfilztes Gefüge aufweisen, also keinen glatten Bruch zeigen und zudem große Aufsaugfähigkeit und Geschmeidigkeit[1]) besitzen. Die Breite beträgt meist 90—100 cm, die Länge bis zu 300 m; durch eingestanzte Löcher bzw. Schlitze ist für eine bequeme Trennung in Stücke von je 10 bis 15 m Länge — entsprechend einer „Rolle Dachpappe“ — von vornherein Sorge getragen.

In neuerer Zeit findet auch langfaserige Zellulose zur Herstellung von Pappen, die später imprägniert werden sollen, Verwendung.

Der durch die trockene Destillation der Steinkohle gewonnene Teer besteht aus einer Anzahl leicht und schwer flüchtiger Verbindungen. Durch Abdestillation der ersteren entsteht das harte Steinkohlenpech, aus dem durch Zusatz einer entsprechenden Menge von Schwerölen der Steinkohlenteerasphalt gewonnen wird.

---

[1]) Die Aufsaugfähigkeit wird dadurch ermittelt, daß man die Gewichtszunahme der zunächst vollkommen trockenen Pappe nach Einlegen in Wasser bestimmt, während die Geschmeidigkeit durch scharfes Umbiegen geprüft wird. Bei letzterer Probe dürfen keinerlei Risse entstehen, die einzelnen Fasern müssen vielmehr die Biegung gut aushalten können. Oft wird auch Pappe durch Mineralkörper „beschwert“. Dies erkennt man durch eine Untersuchung unter dem Mikroskop bzw. durch eine Verbrennungsprobe, bei der alle mineralische Bestandteile als Asche zurückbleiben.

Der zur Dachpappenfabrikation verwendete Teer ist zunächst von jeglichem Wassergehalt zu befreien, d. h. zu „raffinieren“. Dies geschieht durch Erhitzen in offenen Kesseln, wobei man allerdings wegen der schwierigen Kontrolle der Temperatur des Teerbades nicht sicher sein kann, ob auch wertvolle Stoffe mit dem Wasserdampfe entweichen (namentlich Benzol und Toluol), oder unter Benutzung besonderer, durch innenliegende Rohre mit überhitztem Dampfe geheizter Destillierapparate, welche die Abscheidung, dann aber auch eine Sammlung leicht flüchtiger Bestandteile gestatten; hier kommen namentlich die flüchtigen Öle und Ammoniakwasser in Frage. Der destillierte Steinkohlenteer wird in zähflüssigem Zustande zur Imprägnierung, und zwar mit oder ohne Zusatz von Mineralölen verwendet; gerade durch letztere erlangt die Dachpappe besondere Geschmeidigkeit und Beständigkeit. Mit nicht destilliertem Steinkohlenteer getränkte Pappe nimmt schnell große Härte, aber auch Sprödigkeit an und verbleibt ziemlich porös („Steinpappe“); sie bricht daher leicht beim Umbiegen und Begehen und ist nur von kurzer Dauer. Früher wurde vielfach dem destillierten Teer Asphaltbitumen, namentlich gereinigter Trinidad-Asphalt, zugesetzt, um die Pappe möglichst geschmeidig zu machen — Asphalt-Dachpappe; jedoch unterbleibt, der nicht unerheblichen Mehrkosten wegen, dieser Zusatz heute meist.

Die Durchtränkung der Pappe mit Teer erfolgt meist mit Hilfe eiserner, länglicher, kastenförmiger Behälter, in denen sich der heiße flüssige Teer befindet; an dem einen Querende dieser Tröge ist zur Aufnahme der Rohpappe eine drehbare Rolle, von der sie sich abwickelt, angebracht, während am anderen Ende ein Ausdreh-Walzenpaar, dessen Abstand je nach der Dicke und der gewünschten Zusammenpressung der imprägnierten Pappe einstellbar ist, den Wiederaustritt der Pappe aus dem Behälter sichert. In letzterem wird die Pappe durch Eindreh-, Führungswalzen u. dgl. in der Art geleitet, daß sie genügend mit Teer durchtränkt wird; diesem Zweck dient in besonders guter Weise ein Durchführen der Pappe durch den Trog in Form von Schlangenlinien, wenn auch nicht zu verkennen ist, daß hier ein etwa eintretendes Abreißen der Pappe im Bade zu unangenehmen Betriebsstörungen führen kann. Neben den länglichen Trögen kommen neuzeitlich zum Zwecke der Durchtränkung der Pappe auch halbzylindrische Gefäße in Anwendung, in deren Mittelachse sich eine drehbare Welle mit einer Anzahl (3—6) sternförmig angeordneter Eindrehwalzen befindet, die nacheinander mit Rohpappe beschickt werden; von ihnen aus wird die Pappe durch das ganze Gefäß und seinen Teerinhalt allmählich hindurchgezogen.

Die vorgenannten Ausdrehwalzen haben neben dem schließlichen Einpressen des Teeres in die Pappe und deren Zusammenpressung und Dichtung auch den Zweck, den überflüssigen Teer abzustreifen und ihn dem Behälter wieder zuzuführen. Zum Schlusse der Herstellung folgt das Besanden der Dachpappe. Dies hat den Zweck, einerseits ein Aneinanderkleben der Flächen beim Aufrollen nach der Tränkung zu verhindern, andererseits die Oberfläche der Dachpappe gegen mechanische Eindrücke widerstandsfähiger zu machen, ein Abfließen des Teeres bei Sonnenbestrahlung zu verhindern und endlich die Entflammbarkeit zu verringern[1]). Das Aufbringen des Sandes muß unmittelbar nach der Tränkung vorgenommen werden, weil nur alsdann der Sand gut und dauerhaft im Teer festklebt.

[1]) Daß durch Besandung der Pappe die Gefahr einer Entzündung, z. B. durch Flugfeuer, sehr stark verringert ist, haben vielfache Beispiele aus der Praxis erwiesen; hiervon kann man sich auch durch den Versuch überzeugen, indem man eine glühende Kohle auf eine gut besandete Dachpappe legt; hier findet nur ein langsames Verkohlen der Stelle statt, während bei unbesandeter Pappe i. d. R. ein Loch in diese hineinbrennt, manchmal auch das Feuer weitergreift.

Zur Besandung verwendet man reinen Quarzsand, der in meist trommelförmigen Apparaten gut getrocknet, nach Durchsiebung in besondere Behälter geleitet wird; von ihnen aus fällt der Sand auf die Pappe, die meist so geführt wird, daß beide Seiten zugleich besandet werden; man hat aber auch Vorrichtungen, bei denen die Pappe mit ihrer Unterseite über einen mit Sand bedeckten Tisch gezogen wird, während von oben aus Sand auf die Oberseite fällt.

Nach der Besandung wird die Pappe in Rollen von meist 15 m Länge aufgewickelt, die entweder unmittelbar in kühle, trockene Räume zur Lagerung gebracht oder in diesen wieder abgewickelt werden; die alsdann flach übereinander liegenden Pappen bewirken, daß der Sand sich allmählich noch fester in die Teerschicht einpreßt.

Über die Verlegung der Pappe, den Anstrich des Pappdaches und seine Unterhaltung sind die Lehrbücher über Baukonstruktionslehre zu vergleichen; es sei nur erwähnt, daß sowohl der erste Anstrich, wie auch die späteren, zweckmäßig mit einem, dem bei der Herstellung der Pappe benutzten entsprechenden, destillierten Material und einem besonderen Zusatze von Mineralöl, Asphalt oder dgl. erfolgen sollen; hierzu nur Steinkohlenteer zu verwenden, empfiehlt sich nicht, weil hierbei die Pappe spröde, rissig und durchlässig wird; auch ist auf jeden frischen Anstrich scharfkantiger Sand gröberen oder feineren Kornes zu streuen. In der Regel ist der zweite Anstrich nach 2 Jahren notwendig (wenn die Pappe sichtbar wird), während weitere Anstriche meist nur in 4—5 Jahren erforderlich und auch nur in diesen Pausen zweckmäßig sind, da eine allzu starke Kruste von Teer und Sand auf der Pappe das Reißen dieser bei Wärmeschwankungen befördert, ein zu oft wiederholter Anstrich also schädlich ist.

Als besondere Anstrichmittel für Teerpappdächer, namentlich auch zu Unterhaltungs- und Reparaturarbeiten, sind zu nennen Wachs-Teer[1]), eine kalt aufzutragende, fäulnisverhütende, sehr zähe, wachsähnliche, wetter- und besonders hitzebeständige Masse, die durch das in ihm enthaltene antiseptische Öl die Dachpappe lange geschmeidig erhält, den Angriff durch die Atmosphärilien verhindert und durch ihren Gehalt an unverbrennlichen Alkalien und Mineralien eine besonders schwere Entflammbarkeit sichert.

Elastique-Bray[2]), ebenfalls ein kalt aufzutragender, nicht spröde, rissig oder weich werdender, sehr wetterfester Anstrich mit hohem Fettgehalt u. a. m.

Als Kennzeichen einer guten Dachpappe sind anzusehen: Ein filzartiges Gefüge, eine grosse Biegsamkeit, dadurch nachzuweisen, daß trotz mehrfachen Hin- und Herbiegens kein Bruch eintritt, eine vom Teer vollkommen durchtränkte, schwarze, fettglänzende Querschnittsfläche, ein durchaus gleichmäßiges Aussehen, namentlich kein Durchscheinen der Rohpappe, endlich keinerlei Gewichtszunahme selbst nach 24stündigem Liegen im Wasser. Hiernach richten sich auch die für die Abnahme einer Dachpappenlieferung maßgebenden Gesichtspunkte.

Als besondere Arten von Dachpappe oder verwandte, dem gleichen Zwecke wie sie dienende Baustoffe kommen in Frage einerseits solche, die ein reinfilziges Gewebe aufweisen, andererseits eine Durchtränkung mit besonderen Stoffen erkennen lassen. Hier sind kurz zu nennen: Filzpappen[3]), Barackenpappe, namentlich

---

[1]) Wachsteer wird von Zimmereimer & Co. in Berlin-SO. hergestellt. Die Masse wird auch zu allen Isolierungen gegen Feuchtigkeit, zum Anstrich von Holz, namentlich zur Sicherung gegen Schwamm, zum Ausfugen von Pflaster usw. verwendet.

[2]) Hergestellt von der Dessauer Dachpappen-, Asphalt- usw. Fabrik von J. Röpert.

[3]) Filzpappe, oft auf der Innenseite mit einem Juteüberzug versehen, erhält 3—4 mm Stärke; sie besteht vorwiegend aus Wollfilz- und Steinkohlenteer.

die von Strohmeyer-Konstanz, von den Döcker-Baracken in Niesky, von Rabitz und Eltze[1]), Sturmpappen[2]), Asphaltleinenpappen[3]), Durescopappe[4]), Asphaltin[5]) usw.[6]).

Schließlich ist hier erwähnenswert das „Dachpix"-Pappdach der „Dachpix"-Gesellschaft (Oberschönweide-Berlin), hergestellt aus einer, mit diesem Material getränkten und nach der Eindeckung gestrichenen Pappe; das hier benutzte Dachpix besteht aus fein gemahlenem Magnesiasilikat, Metalloxyden und Teerölen, die zu einem bitumenartigen Zement vereinigt sind, der sich gut streichen läßt, durchaus wettersicher, unverbrennlich und hitzebeständig ist. —

Die Dachpixpappen werden in fünf verschiedenen Stärken und in Rollen von 10 m Länge und 1 m Breite geliefert; sie sind nur etwa halb so schwer als Teerpappe mit Sand. Dachpix selbst wird neben der Unterhaltung von Pappdächern auch zur Sicherung von Metalldeckungen und -dächern, und zwar unter Umständen in verschiedenen Farben geliefert; die Normalfarbe ist ein schönes, tiefes und glänzendes Schwarz.

Auch gehören in gewissem Sinne hierher die als Isolationstoffe bestens bewährten Kosmos-Falztafeln (Abb. 48—50). Die schwalbenschwanzförmig gepreßten,

Abb. 48.

Abb. 49.

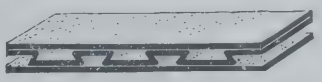

Abb. 50.

Kosmos-Falztafeln.

hervorragend guten Rohpapptafeln sind durch Tränkung mit Asphalt wasserdicht gemacht und gegen Fäulnis bestens geschützt. Durch die beiderseitigen trapezförmigen Hohlfalze werden die Tafeln bei verhältnismäßig geringem Gewichte sehr stabil; auch kann durch diese Form des Hohlraumes ein Verputz in umwandelbarer Art an den Falztafeln angebracht werden, der somit sowohl an Wänden wie Decken sehr fest haftet. Der Hauptwert der Isolationsplatten liegt aber in den auf der andern Seite verbleibenden schwalbenschwanzförmigen Hohlräumen, die wegen der hier befindlichen ruhenden Luftschicht einen guten Schutz gegen Wärme, Kälte und Schall bedingen, also, ganz abgesehen von der durch ihren Baustoff schon gesicherten Wasserdichtigkeit, sich als ein vorzügliches Isolationsmaterial zu erkennen geben. Dabei sind sie auch wegen des kleinen Raumes,

[1]) Baracken-Dachpappen enthalten vielfach Leinwandbekleidung einseitig oder doppelt, sind auch (Rabitz-Eltze) aus mehreren Lagen zusammengesetzt, die durch eine feuersichere Asbestfasermasse verklebt werden.

[2]) Sturmpappe, hergestellt v. Benrath & Franck in Düren, besteht aus starkem Jutegewebe mit dichtem Manilapapier und zeichnet sich durch große Leichtigkeit aus. Das Material hat sich bei den Untersuchungen des Berliner Materialprüfungsamtes bestens bewährt und in bezug auf Festigkeit der besten normalen Dachpappe als bedeutend überlegen gezeigt.

[3]) Hier ist zwischen zwei Asphaltpapierlagen ein Jutegewebe geklebt; zur Eindeckung werden mehrere Lagen übereinander verwendet.

[4]) Hergestellt von J. Steindler & Co. in Altona. Durescopappe ist ein sand- und steinfreies, glattes, biegsames Material von besonders geringem Gewichte und großer Widerstandsfähigkeit gegen Kälte, Hitze, Wasser und Feuer.

[5]) Das Asphaltindach (C. F. Weber, A.-G., Leipzig-Plagwitz) besteht aus 2 bzw. 3 Lagen einer besonders hergestellten und abgedeckten Asphaltpappe, welche durch heiß aufgetragenen Klebeasphalt miteinander verbunden werden. Die Oberlage enthält eine Schicht Asphaltkitt, in welche, so lange sie noch zähklebrig ist, eine Schicht erbsengroßes Kieses eingewalzt wird. Das Asphaltindach kann sowohl auf Holzschalung als auch auf Betonunterlage ausgeführt werden. Ein Neuanstrich ist innerhalb von 10 Jahren erfahrungsgemäß nicht notwendig.

[6]) Auf die Asphaltbleiplatten von Siebel in Düsseldorf ist schon auf S. 560 eingegangen.

den sie bei ihrer geringen Stärke einnehmen, durchaus konstruktiv, sehr biegsam und überall leicht anzubringen. Unter Umständen kann man auch mit Vorteil die Hohlräume hinter den Platten zur Luftleitung heranziehen und somit eine hervorragende, sehr einfache Lüftung erreichen, die zur Trockenhaltung bzw. zum Austrocknen der umschlossenen Bauteile bestens beiträgt. Für besondere Zwecke werden die Kosmos-Falztafeln auch mit einer oder zwei gleichartig gebildeten Flachschichten versehen, geliefert (Abb. 49 und 50), und zwar namentlich für die Herstellung ganzer Wände und Gebäude in Verbindung mit leichten Holz- oder Eisengerüsten und Verputz. Genaueres, namentlich in baukonstruktiver Richtung, ist aus der Broschüre: Anwendung und Bewährung des Patent-Falztafeln-Kosmos von A. W. Andernach in Beul a. Rh. zu entnehmen.

Endlich sei noch einiger baulicher Verwendungen des Steinkohlenteers, vorwiegend als Anstrichmasse zum Schutze des Eisens vor Rost (vgl. S. 553) und von Mauerwerk gegen Feuchtigkeit, sowie chemische Einwirkungen der verschiedensten Art, ferner zur Tränkung von Ziegeln und ähnlichen porösen Kunststeinen gedacht. Zu allen diesen Arbeiten wird der wasserfreie Teer in heißem Zustande verwendet, um auch die kleinsten Vertiefungen und Poren gut auszufüllen. Sind bei Eisenkonstruktionen u. dgl. zwei Anstriche erforderlich, so ist der zweite erst nach vollkommener Trocknung des ersten aufzubringen; hierbei wird der erste soweit erweicht, daß er sich mit dem zweiten zu einer einheitlichen Schicht verbindet. Während kleinere Gebrauchsgegenstände nach Erwärmung einfach in den heißen Teer hineingetaucht werden, werden größere Teile mit ihm gestrichen. Bereits auf S. 553 wurde hervorgehoben, daß Teer ein gut bewährtes Rostschutzmittel auch für Eisenbauten ist, daß man ihm aber, um sicher zu sein, daß keine freie Säure in ihm mehr wirksam ist, zweckmäßig gelöschten Kalk zusetzt und zudem durch eine Petroleumzugabe seine Streichfähigkeit verbessern kann.

Handelt es sich um die Tränkung von Ziegeln, sowohl von Dachsteinen als auch Normalformaten durch Steinkohlenteer, so ist auch hier ein ziemlich starkes Erwärmen der Steine notwendig, damit alsdann die in den Steinporen befindliche, stark verdünnte Luft ein schnelles und tiefes Eindringen des Teers sichert, wobei die frisch gestrichene oder durch Eintauchen imprägnierte Fläche ein mattes Aussehen erhält; erst wenn der Ziegel keinen Teer mehr aufzunehmen vermag, zeigt sich eine glänzende Oberfläche, deren Auftreten mithin eine Sicherheit für eine gut ausgeführte Durchtränkung bildet, die stets mehrere mm in den Stein eingedrungen sein muß.

Derartig mit Teer, meist nur einseitig, getränkte Dachsteine sind vollkommen undurchlässig gegenüber den Witterungseinflüssen, sind also auch der Gefahr eines oberflächlichen oder vollkommenen Gefrierens nicht ausgesetzt, da in die Steinporen kein Wasser einzudringen vermag und haben sich zudem vorzüglich bei Hagelschlag bewährt; es kommt noch hinzu, daß die im Teer enthaltene Karbolsäure eine Reihe von Jahren hindurch das Entstehen von pflanzlichem Leben auf dem Stein mit seinen chemischen und mechanischen Zerstörungsmöglichkeiten ausschließt.

In gleicher Weise sind auch Mauerziegel, die durch eine Teertränkung vor allem wasser- und oft auch säurefest gemacht werden sollen, zu behandeln; meist werden sie mit Hilfe von Koksfeuern auf etwa 130° C erhitzt, dann in eine mit flüssigem Teer gefüllte Pfanne gebracht, um schließlich, — nach Abtropfen des überflüssigen Teeres — auf geebneter, mit feinem Sande bestreuter Erdfläche allmählich abzukühlen.

Es ist darauf zu sehen, daß die Oberfläche rauh und kräftig schwarz erscheint und der Teer bis mindestens 1 cm tief in den Stein eingedrungen ist.

In gleicher Weise kann naturgemäß auch geschmolzenes Asphaltbitumen bzw. Mastix — wenn auch hierbei die Kosten erheblich größer sind — zur Tränkung von Ziegeln Verwendung finden.

Auch können mit Teer usw. schräge bzw. senkrechte Mauerflächen gegenüber dem Eindringen von Feuchtigkeit gestrichen werden.

Ein dem Teer nahestehender, wie dieser für Dachdeckungen benutzter Baustoff ist:

Holzzement[1]).

Holzzement besteht aus reinem Steinkohlenteer (100 T.), dem zur Erhöhung seines Schmelzpunktes Schwefel (10 T.), sowie um die Masse nicht zu strengflüssig zu bekommen, noch Kolophonium (6 T.) bzw. an seiner Stelle harziges Öl zugesetzt werden. Die tiefschwarze, zähflüssige bis teigartige, teerähnliche Masse wird heute fabrikmäßig durch Zusammenkochen der drei vorgenannten Stoffe in meist geschlossenen, mit einem Abzugsrohre versehenen, eisernen Kesseln gewonnen.

Die günstige Wirkung der einzelnen Gemengteile aufeinander, namentlich die günstige Beeinflussung des Schmelzpunktes des Teers durch den Schwefel beruht vorwiegend auf einer chemischen Verbindung, die beide Stoffe bei einer Temperatur über 100° eingehen. Holzzement findet Verwendung zu den, durch ihre besonders flache Neigung (bis 1 : 20) ausgezeichneten Holzzementdächern, bei denen auf einer ganz glatten oder durch feinen Sand, Asche oder dgl. besonders abgedeckten, vollkommen geebneten Holzschalung vier bis fünf Lagen von starkem Papier mit der erhitzten und hierdurch flüssig gemachten Holzzementmasse gestrichen und verklebt werden. Das verwendete Papier, möglichst ungeleimt und knotenfrei, wird in besonderen Fabriken in Normalbreite von 175 cm und großen Längen hergestellt.

§ 103. Ruberoid, Asbestgewebe, wasserdichte Gewebe für Bedachungen und Verkleidungsarbeiten, Linoleum, Kautschuk und Guttapercha.

1. **Ruberoid.** Das seit längerer Zeit bestens bewährte und unter den verschiedensten Verhältnissen und Verwendungsbedingungen mit gutem Erfolge benutzte Deckungs- und Isolierungsmaterial besteht aus einer vorzüglichen Wollfilzpappe als Grundlage, welche zunächst durch und durch mit der wasserfesten, wetterbeständigen, gegen Säuren und Laugen gleich unempfindlichen Ruberoidmischung getränkt und hierauf mit dieser — jedoch in härterer Komposition — auf beiden Seiten überzogen wird. Die Ruberoidmischung enthält weder Teer noch Asphalt, kommt an Elastizität und Zähigkeit dem Rohgummi gleich, wird also hierin weder von einer anderen Isolierpappe noch von Asphaltfilz u. dgl. erreicht; während, wie aus vergleichenden Versuchen des Kgl. Material-Prüfungsamtes zu Groß-Lichterfelde hervorgeht, Asphaltfilz durch eine auf ihn einwirkende Belastung, bereits von 5 kg/qcm an, sehr erheblich, und zwar um fast 25 v. H. dauernd zusammengedrückt wird, erleidet Ruberoid eine nur geringe Formveränderung

[1]) Holzzement, dessen Benennung als wenig glücklich gewählt bezeichnet werden muß, da die Masse mit Zement nichts zu tun hat, wurde im Jahre 1839 von P. S. Häusler in Hirschberg zuerst hergestellt, der fand, daß Steinkohlenteer mit Schwefel zusammengekocht, einen höheren Schmelzpunkt erhält und zu einer harten Masse erstarrt, die zunächst zum Dichten von Weinfässern benutzt wurde; aus diesem Zwecke wird die gewählte Bezeichnung für das Dichtungsmittel erklärlich.

(7 v. H.). Diese Zahlen steigern sich bei einer Druckbeanspruchung von 200 kg/qcm auf 40 bzw. 13 v. H.

Ein weiterer Vorzug des Ruberoids ist seine geringe Stärke, die normal nur etwa 2,5 mm beträgt, namentlich wichtig für die Isolierung von Mauerwerk, das mit dünnen Fugen hergestellt wird. Es kommt hinzu, daß gegenüber Isolationsstoffen, die Teer und Asphalt enthalten, hier sogar bei einer Belastung von 200 kg/qcm noch keinerlei Herausquellen der Isolationsmasse wahrgenommen wurde, also auch keinerlei einseitige Setzungen von mit Ruberoid isolierten Mauern zu befürchten stehen.

Trotz seiner geringen Stärke zeigt Ruberoid eine sehr große Zugfestigkeit, die nach den Lichterfelder Versuchen zu rund 41,3 kg/qcm festgestellt ist, während für die in Vergleich gezogenen Asphaltfilzplatten nur rd. 10 kg/qcm gefunden wurden; in gleichem Sinne erreichten die bei Zugversuchen beobachteten Dehnungen des Ruberoids nur etwa $^1/_{10}$ bis $^1/_{20}$ der bei den benutzten Asphaltfilzplatten beobachteten Werte.

In gleicher Weise hat sich die Wärmebeständigkeit von Ruberoid als sehr groß gezeigt; bis 150° C hält es sich unverändert und kann demgemäß auch an steiler Wand oder in steil geneigter Dachfläche, der Sonnenbestrahlung ausgesetzt, Verwendung finden, ohne daß ein Ablaufen der Imprägnierungsmasse zu befürchten steht. Gleichgroß ist die Wasserdichtigkeit, haben doch hier die mehrfach erwähnten Versuche ergeben, daß selbst nach 75 Tagen bei Ruberoid weder Wasser durchgedrungen, noch irgend eine Veränderung eingetreten ist; im Vergleiche zu Asphaltfilz zeigte sich, daß hierin Ruberoid einer doppelt so starken Schicht von ersterem weit überlegen ist. Auch gegen chemische Reagenzien verhält sich die Masse so günstig, daß Ruberoid sogar zur Auskleidung von Akkumulatorenkästen der Straßenbahnwagen mit hervorragendem Erfolge und in großem Maßstabe verwendet werden konnte.

Die Ausführung der Isolationsarbeit mittelst Ruberoid ist eine sehr einfache, da das in Rollen, daneben auch in, den Mauerstärken entsprechenden Breiten gelieferte Material auf dem Mauerwerke, dem Beton bzw. der Schalungsunterlage usw. einfach aufgerollt und mit einer heißflüssigen Klebemasse aufgeklebt wird.

Bei Einfügung des Ruberoids in die Fugen des aufgeführten Mauerwerkes ist ein Verkleben der Stoßfugen nicht erforderlich; hier reicht der Druck des nach oben geführten Mauerwerks bereits aus, um an dieser Stelle vollkommene Dichtheit zu erzielen; hingegen ist bei Abdeckung von Gewölben, Dächern usw. ein Verkleben des i. d. R. 10 cm breiten Überschlages notwendig. Zum Schlusse wird auf das Ruberoid ein sehr satter Anstrich mit heißflüssiger Klebemasse von härterer Beschaffenheit aufgebracht, um jegliche mechanische Beschädigung durch überliegendes Füllmaterial, Betreten der heißen Fläche usw. auszuschließen. Die fertige Ruberoidabdeckung erfordert etwa 3,50 bis 4,00 Mark für 1 qm.

Die üblichen Rollenabmessungen für Abdeckungsarbeiten von Gewölben usw. („Ruberoid Nr. 3“) sind 20 qm bei 91,5 cm Breite; daneben sind für Mauerisolierung die Breiten von 13, 25, 30, 38, 51, 57, 64, 70, 77, 87, 91,5 und 100 cm bei 10 m Länge im Handel.

Für Dachdeckungszwecke wird neben dem normalen matt grüngrauen Material auch ein schön und kräftig, dabei dauerhaft, rot gefärbtes geliefert, und zwar durch eine, während der Fabrikation vorgenommene Färbung der äußeren, gehärteten Ruberoidmasse; hierdurch wirkt die Bedachung auch ästhetisch und fügt sich gut in jedes Landschaftsbild ein. Es liegt auf der Hand, daß in gleicher Weise Dächer mit Holzschalung als auch solche aus Beton (und Eisenbeton) abgedeckt werden können; die Art der Ein-

deckung erfolgt auch hier wie vorstehend beschrieben wurde. Ein öfterer Anstrich wie beim Pappdache ist nicht notwendig.

2. **Asbestgewebe.** Von dem in der Natur vorkommenden Asbest[1]), einem unverbrennlichen, durch Säuren und ätzende Stoffe unangreifbaren, durch sein schlechtes Wärmeleitungsvermögen ausgezeichneten, leicht formbaren, mineralischen Stoffe, werden in der Technik diejenigen Arten bevorzugt, welche aus langen, feinen, biegsamen Kristallen bestehen, also in faseriger Struktur sich zeigen. Nachdem die einzelnen Fasern vermittelst geeigneter mechanischer Vorrichtungen voneinander getrennt sind, werden sie in der gleichen Weise verarbeitet, wie man dies mit anderen Gespinstfasern tut, d. h. sie werden zu Garn versponnen, das dann weiter zur Herstellung von Geweben dient, oder verfilzt und somit zu Platten verschiedener Stärke von i. d. R. sehr weicher Beschaffenheit vereinigt. Daneben kann man auch den Asbest in Form einer lockeren, flockigen durch einfaches Zerfasern gewonnenen Masse als Isolationsmittel verwenden; allerdings ist diese Art der Benutzung gegenüber der in Form von Platten, Filz, Geweben usw. von untergeordneter Art.

Die namentlich wegen ihrer Feuersicherheit für Theaterdekorationen, dann wegen ihrer schlechten Wärmeleitung für warme und kalte Rohrleitungen u. dgl. benutzten Asbestgewebe werden in sehr verschiedener Art hergestellt; zunächst können Baumwollfäden, mit Asbest übersponnen, ein Gewebe bilden, das mit Wasserglaslösung bestrichen und mit Asbestfasern bestreut wird, die dann durch (Walzen-) Pressung mit der aus dem Wasserglase sich ausscheidenden gallertartigen Kieselsäure verbunden, die Erzeugung dünnerer wie stärkerer Asbestplatten bedingen. Hierbei kann man auch als Einlage ein dünnes Drahtnetz aus Eisen-, Messing- usw. Draht verwenden und somit vollkommen feuersichere Platten von zudem großer Biegefestigkeit gewinnen.

Unter Umständen wird auch das zugrunde gelegte Baumwollgewebe zunächst mit schwefelsaurer Tonerde getränkt, und erst nach dem Aufstreuen der Asbestfasern die nunmehr gebildete Fläche mit verdünnter Wasserglaslösung besprengt. Auch kann man ähnlich wie bei gewöhnlicher Stroh- bzw. Holzpappe die Herstellung der Asbestplatten nach Zermahlen von Asbest-, Leinen-, Woll- u. dgl. Fasern und Anrühren dieser mit Wasserglas-, auch Leimlösung, bzw. beider zu einem dünnen Brei mit Hilfe von Walzen bewirken; auch hier wird zweckmäßig ein Netz aus dünnem Eisendraht oder dgl. eingelegt, in dessen Maschen die breiige Asbestmasse zunächst in geringem Maße, im Laufe der Herstellung und nach mehrmaligem Überwalzen aber in immer größerer Menge sich festsetzt, um schließlich eine Art Asbesttuch zu bilden.

Die Dicke der Asbestpappe kann, ihrer Herstellung entsprechend, sehr verschieden sein; während die geringsten Stärken nur 1 mm betragen, können Höchstabmessungen von mehreren cm erzeugt werden. Die Platten lassen sich leicht schneiden und sind bei etwa 6 mm Stärke noch so biegsam, daß man sie leicht um zylindrische Körper — Dampfrohre u. dgl. — wickeln kann. Zum Feuerschutze genügt für die Sicherung darunter liegender Holzbauten u. dgl. eine Stärke von etwa 5 mm.

Eine besondere Art von Asbestplatten mit innerem Drahtnetze bilden die sogenannten „Superatorplatten“[2]), bei denen als Bindemittel Magnesiumoxychloryd

[1]) Über die Konstitution der Asbeste, ihre Entstehung, Vorkommen usw. vgl. u. a. E. Feltone, Isoliermaterialien und Wärme-(Kälte-)Schutzmassen. A. Hartlebens Verlag 1903 S. 69 u. flgd. Vgl. auch Teil I des vorliegenden Lehrbuches, S. 6.

[2]) Diese Platten werden hergestellt von J. H. Reinhardt in Würzburg. Früher wurde als Bindemittel Chlorzink und Zinkoxyd benutzt, die naturgemäß teurer waren als die jetzt verwendeten Bindestoffe, auch größeres Gewicht aufwiesen.

(Sorelscher Zement, S. 202) Verwendung findet und denen man neben den Asbestfasern indifferente Körper, selbstverständlich vollkommen feuersicherer Art, zusetzen kann. Als solche verwendet man zweckmäßig Ton, und zwar für weiße Platten Pfeifenton, für farbige Lehm u. dgl. Auch kann die ganze Masse durch Ocker gelb, durch Eisenoxyd rot, durch Braunstein braun usw. gefärbt werden.

Bei der Herstellung der $^3/_4$—6 mm starken Platten wird zunächst langfaseriger, gut zerteilter Asbest in rotierenden Trommeln mit feingepulvertem gebrannten Magnesit gemischt, wenn gewünscht unter Zusatz der indifferenten Beimengungen und der Farbstoffe; alsdann wird die verdünnte Chlormagnesiumlösung hinzugefügt und der so entstehende Teig endlich unter Vermittelung eines Formrahmens auf der Drahteinlage festgewalzt; erforderlichen Falles können auch mehrere Drahtnetze eingefügt, d. h. die alsdann stärkeren Platten aus einzelnen Schichten hergestellt werden. Sollen die Platten wasserdicht werden, so wird dies durch eine Tränkung in Chlormagnesiumlösung und nach deren Einsaugen in einer verdünnten Lösung von Wasserglas bewirkt; hierbei bildet sich in den Poren der Platten ein Niederschlag von kieselsaurer Magnesia.

Superatorplatten sind ausgezeichnete Schutzmittel für Wärme und Kälte und dabei durchaus feuersicher; neben ihrer Hauptbestimmung zu Isolationszwecken finden sie deshalb — und zwar meist in nur 5 mm Stärke — für Barackenbauten aller Art und zwar auf einem dünnen Holz- oder Eisen-Rahmenwerke Verwendung. Für die Tropen haben solche Häuser mit eisernem Tragwerke noch den erheblichen Vorzug, daß sie von Insekten nicht angegriffen werden.

Über die Asbestschieferplatten — in neuester Zeit als Eternitschiefer bezeichnet — ist bereits bei dem Abschnitte: Künstliche Steine, S. 237, das Wichtigste mitgeteilt; es sei hier nur noch auf die in Anm. [1]) erwähnte Broschüre verwiesen.

3. Die **wasserdichten Leinenstoffe und ähnliche Gewebe** werden neben der Errichtung von Zelten auch zur Bekleidung von Baracken, zur Dacheindeckung, zum Überziehen von Wänden, zur Herstellung von Fußböden usw. benutzt. Meist werden die sehr haltbaren, elastischen, abwaschbaren Stoffe — i. d. R. Segeltuche — durch einen Anstrich luft- und wasserdicht, auch durch Imprägnierung unverbrennlich, also feuersicher gemacht. Die Stoffe finden, beliebig gefärbt, Verwendung auf trockener Holzschalung zur Erzeugung einer, allen Forderungen genügenden Dachhaut, auch als Ersatz für harte Bedachung, ferner zur Außenbekleidung von Baracken, für Innenbekleidung von Fabriken, industriellen Bauten aller Art usw.; in diesem Falle bilden sie einen vorzüglichen Schutz der Wand- bzw. Deckenkonstruktionen gegen die Zerstörung durch aufsteigende Dämpfe u. dgl. und verhindern zugleich ein Abtropfen von Schweiß- bzw. Kondenswasser, das an der glatten Stoffbekleidung leicht abläuft.

Als besondere Arten solcher wasserdichten Leinenstoffe sind zu nennen:

Die Fabrikate von Weber-Falckenberg (Berlin, Köln, Wien), vielfach — auch bei Tropenbauten — vorzüglich bewährt, namentlich in Hinsicht auf ihre Feuersicherheit, ihre lange Haltbarkeit und die sehr geringen Unterhaltungskosten, in Normalbreiten von 115 cm und sehr verschiedenen Farben geliefert.

Die Dach- und Wandbekleidungsstoffe von Karstadt (Hamburg), ausgezeichnet einerseits durch die Gestaltung der Unterlage, welche keilförmige Nuten zum

[1]) Eternit. Patent Hatschek (D.R.P. 162329). Herausgegeben von der Deutschen Eternit-Gesellschaft in Hamburg. Die in Groß-Lichterfelde mit dem Material vorgenommenen Versuche haben sehr befriedigende Ergebnisse gezeitigt; namentlich erscheint die sehr hohe Zugfestigkeit von 420 kg/qcm bemerkenswert.

Anschlusse der Stoffe zeigt, andererseits durch die Befestigung letzterer in den Nuten, die vollkommen ohne Nagelung und zwar nur durch einen keilförmigen Verschluß schließlich unter Ausfüllung der ganzen Nut mit Kitt erfolgt [1]). Naturgemäß kann aber auch jede andere Eindeckungsart mit den Karstadtschen Geweben ausgeführt werden, wie z. B. Nagelung und Überklebung auf durchgehender Holzschalung, Eindeckung nach Art eines Pappdaches mittelst dreieckiger Leisten usw.

Pappoleïn der Firma Röpert (Dessau). Der aus langfaserigen wollenen und leinenen Rohstoffen hergestellte Stoff ist mit einer öl- und fettreichen Holzzementmasse getränkt und mit einer feinen, fest eingepreßten Sandschicht oberflächlich gefestigt. Die Verwendung des sehr zähen, festen und biegsamen Stoffes erstreckt sich fast ausschließlich auf Dacheindeckungsarbeiten.

Ähnliche Stoffe sind: Die Bedachungsleinwand von N. Scheer-Mainz (eine Asphaltleinenplatte), von Strohmeyer & Co., Konstanz (ein präpariertes Hanfsegeltuch mit und ohne Drahteinlage), der Dachdeckungsstoff Antin-Elementum von W. Seck-Oberursel bei Frankfurt a. M., ein besonders getränktes Jutegewebe, welches mit einer an der Luft zementartig erhärtenden Masse imprägniert ist, u. a. m.

4. **Linoleum** [2]). Linoleum besteht aus feingemahlenem Kork, durch besondere Behandlung oxydiertem und hierdurch zu einem gummiartigen Bindemittel umgewandelten Leinöl, die beide, zu einem hoch plastischen Gemenge vermischt, auf besonders präpariertes Jutegewebe einseitig aufgewalzt werden. Je nach der Art, in der die Oxydation des Leinöls vor sich geht, wird das Naturverfahren „Walton“ — das ursprüngliche, aber länger dauernde, wenn auch das Öl besonders gut oxydierende — und das Verfahren „Taylor“ unterschieden, bei dem die Oxydation des Leinöls vorwiegend auf abgekürztem chemischen Wege erfolgt; hiervon abgesehen ist die Fabrikation des Linoleums überall die gleiche.

Das Leinöl — d. h. das aus der Leinölpflanze (Linum, daher der Name!) ausgepreßte Öl von hellgoldgelber bis bräunlichgelber Färbung, bildet den wichtigsten Bestandteil des Fabrikates; es macht das Linoleum dauernd geschmeidig und zähe und liefert im Verein mit dem Korkmehl — wie schon kurz hervorgehoben — die plastische Masse.

In der Regel läßt man das Leinöl vor seiner Verwendung in großen Öltanks monatelang ablagern, damit sich alle unreinen Bestandteile absetzen können, und bringt es hierauf zur Oxydation, d. h. zur Eintrocknung in Gegenwart von Sauerstoff. Zu diesem Zwecke gelangt das Öl — nach dem Naturverfahren von Walton — in besonders geheizte Schuppen — Oxydierhäuser —, in denen lange Nesselgewebebahnen dicht vor- und nebeneinander aufgespannt sind, um mit dem Öl berieselt zu werden. Hierfür

[1]) Vgl: Der Deutsche Dachdecker vom 15. Sept. 1889.

[2]) Nach einer Anzahl von Vorversuchen wurde das Linoleum im Jahre 1860 von dem Engländer F. Walton erfunden, bald darauf auch von Taylor auf einem anderen, und zwar, soweit die Zubereitung des Leinöls in Frage kam, schnelleren Wege hergestellt, allerdings so lange das Waltonsche Patent Giltigkeit hatte unter dem Namen Corticine in den Verkehr gebracht. Nach Deutschland wurde die Industrie 1882 verpflanzt und hier zunächst in Delmenhorst bei Bremen, einem durch seine Korkindustrie besonders geeigneten Orte, eine Fabrikanlage erbaut, die nach dem Verfahren Walton betrieben wurde. In den Jahren 1882 und 1883 entstanden in Rixdorf und Köpenik Linoleumfabriken (Taylor-Verfahren), denen 1892 eine weitere Delmenhorster Anlage folgte, die die „Anker“-Marke nach System Walton in den Handel brachte. 1893 entstand eine Fabrik in Maximiliansau, 1897 in Bedburg, 1898 und 1899 in Eberswalde bezw. Bietigheim bezw. — eine dritte Anlage — in Delmenhorst usw.

Das dem Linoleum verwandte „Lincrusta“ wurde 1877 zuerst in England als Ersatz für Papier- und gepreßte Ledertapeten erzeugt und seine Fabrikation 1890 in Deutschland eingeführt.

sorgen Pumpen, welche das Öl täglich von neuem von oben her den Nesselstreifen zuführen; an diesen fließt es herunter, kommt so innigst mit der Luft in Berührung und verwandelt sich hierbei durch den Sauerstoff unter Ausscheidung von Kohlen- und Wasserstoff in Linoxyn. Die sich somit bildende Schicht von oxydiertem Leinöl verdickt sich von Tag zu Tag, um nach etwa 5 Monaten, nach welcher Zeit das oxydierte Öl für die Linoleumherstellung reif ist, zu einer 2—3 cm dicken, homogenen, nicht klebrigen Masse von orangeroter Farbe anzuwachsen. Alsdann werden die langen Bahnen aus den Oxydierhäusern herausgenommen, in kleinere Stücke geteilt, aufgerollt und bis zum weiteren Verbrauch gelagert. Rechnet man für das Leinöl eine Lagerdauer von 4—5 Monaten, für die Oxydation 5 Monate und endlich 2 Monate noch bis zur endgültigen Verarbeitung, so ergibt sich für die Vorbereitung des Öls ein Zeitraum von rund 1 Jahr Dauer.

Nach dem Taylorschen Verfahren ist diese Zeit sehr erheblich abgekürzt; hier macht das Leinöl einen schnellen Oxydationsprozeß durch, den man am besten mit dem Bessemer-Prozesse bei der Stahl- und Flußeisengewinnung vergleichen kann, da hier dem stark eingekochten Leinöl auf mechanischem Wege Sauerstoff zugeführt wird und der sonst Monate beanspruchende Oxydationsprozeß auf Stunden herabgesetzt wird.

Nach Beendigung des Oxydationsvorganges wird das oxydierte Leinöl unter Zusatz von Kauri — einem fossilen, aus Neuseeland kommenden Harze — und anderen Harzen zu einer zähen, kautschukartigen Masse gekocht, die den Namen Linoleum-Zement führt und nunmehr innigst mit den sehr feingemahlenen, gereinigten Abfällen der Flaschenkorkfabrikation, denen vorher in trockenem Zustande die Erd- bzw. chemischen Farbmittel zugesetzt wurden, vermischt wird[1]). Dieser recht schwierigen Arbeit dienen große Trommeln mit innenliegenden Mischflügeln, sowie Walz- und Zerkleinerungsmaschinen, die die Masse mischen, kneten und dann wieder zerreißen, um eine möglichst innige Verbindung der beiden Stoffe zu erzielen. Alsdann gelangt die fertige, plastische Masse auf mechanischem Wege in große Kalander, d. s. Maschinen mit 4 mächtigen Walzen, zwei hinteren größeren Arbeitswalzen und zwei vorderen kleineren Polierwalzen. Durch diese Walzen wird die Linoleummasse auf ein entsprechend breites Jutegewebe aufgewalzt, wobei der Raum zwischen den Arbeitswalzen genau nach der Stärke des herzustellenden Linoleum eingestellt wird, d. h. sich meist zwischen 1,5 und 15 mm bewegt. Zum Glätten und Polieren der Oberfläche durchläuft das nunmehr fertig gewalzte Linoleum die beiden Polierwalzen, um von hier aus noch nach der Grundiermaschine zu gelangen, welche die Rückseite des Jutegewebes mit einer roten Firnisfarbe überzieht und zugleich Firma, Qualitätsbezeichnung und Anfertigungsdatum aufstempelt.

Schließlich gelangt das Linoleum in große Räume mit Hängegerüsten zum Zwecke der Trocknung der Rückseite, und alsdann in luftige und warme Trockenhäuser, in denen es flach ausgestreckt längere Zeit lagert, um endlich genau beschnitten, geprüft und zum Versand fertig gemacht zu werden.

Je nach der Färbung der Oberfläche des Linoleums unterscheidet man einfarbiges, in sehr verschiedenen Farbtönen geliefertes und mehrfarbiges Material; letzteres kann durch Bedrucken mit Ölfarbe erzeugt oder durch und durch gemustert werden.

Es liegt auf der Hand, daß ein Bedrucken keine dauernd haltbare Färbung abzugeben vermag, da sich die Ölfarbe bald abläuft; deshalb findet eine derartige Farb-

[1]) Die Korkabfälle werden zunächst auf Vorbrechern zerkleinert und dann auf horizontal liegenden Mahlsteinen feinst vermahlen und endlich gesiebt.

gebung heute auch fast nur noch für die dünnen billigen Qualitäten statt. Das durchgemusterte Linoleum kann entweder durch ausschließliches Zusammenmengen verschieden gefärbten Rohlinoleums vor dem Aufwalzen, wodurch das Linoleum das Aussehen eines mehrfarbigen, gemischten Gesteines erhält (z. B. Marke Granit usw.), hergestellt oder nach besonderen ornamentalen Mustern erzeugt werden — Inlaid-Linoleum.

In letzterem Fall wird die Verfestigung des Linoleums auf der Juteunterlage meist nicht mehr durch Walzen, sondern durch hydraulische Pressen mit hohem Drucke bewirkt, deren Platten, mit Dampf geheizt, das trockene Rohlinoleum-Material wieder formbar machen und die einzelnen verschiedenfarbigen Teile unter sich fest und dauerhaft zu einer fugenlosen Fläche vereinigen. Bei der Zusammensetzung der oft recht verwickelten Muster und Figuren kann in der Art vorgegangen werden, daß entweder jede Farbe für sich hergestellt, die Figuren ausgestanzt und alsdann auf der Juteunterlage zusammengesetzt werden, oder daß von gitterartigen Formen (Gratings) und Schablonen Gebrauch gemacht wird, in deren einzelne Felder die verschiedenfarbigen Rohlinoleumzemente von Hand aus oder auf maschinellem Wege eingebracht werden.

Es liegt auf der Hand, daß beim Pressen des Inlaid-Linoleum nur stückweise vorgegangen werden kann, und namentlich bei den hierdurch bedingten Anschlüssen eines fertigen Feldes an das folgende große Vorsicht und Sorgfalt geboten sind.

Die Vorzüge des als idealer Fußbodenbelag, daneben auch in der Möbelfabrikation zum Belegen von Platten usw. verwendeten Linoleums sind: Seine Wasserundurchlässigkeit, seine große Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung[1]) seine glatte Oberfläche und Fugenlosigkeit, seine schlechte, warme Fußböden sichernde Wärmeleitung, seine Schalldämpfung, die dauernd verbleibende Elastizität, die Leichtigkeit der Vornahme von Ausbesserungen, das gute Aussehen usw. Auch sind seine Festigkeiten durchaus hohe; man kann bei gutem Material mit rd. 60—70 kg/qcm Zugfestigkeit rechnen und annehmen, daß erst von einer Druckbelastung von etwa 300 kg/qcm an eine Formänderung eintritt, die später zum allergrößten Teile wieder verschwindet. Das spezifische Gewicht beträgt i. M. 1,1. Das Waltonsche Fabrikat ist meist 15% schwerer als das nach dem Taylor-Verfahren gewonnene. Vielfach wird das Linoleum — abgesehen von abgepaßten Teppichgrößen — in Breiten von 0,6, 1,00, 2,00, 2,5 und 3 m geliefert. Es darf nicht eher verlegt werden, als bis die Unterlage vollkommen ausgetrocknet ist, da sonst Schimmelbildung entsteht, welche trotz der wasserdichten Rückseite das Linoleum im Laufe der Zeit angreift. Das Linoleum wird entweder genagelt oder mit Kopalharzkitt aufgeklebt, auf Steinmaterialen auch mit einem Zementkitt befestigt. Eine vorzügliche Unterlage bildet das von Maximiliansau gelieferte Korkment, das in der Hauptsache aus feuchtigkeitsbeständigen Stoffen in Bahnen von 200 cm Breite und in beliebiger Länge hergestellt wird. Über seine Verarbeitung und Einbringung als Unterlage für Hartlinoleum gibt die Anm.[2]) Auskunft.

[1]) Nach Untersuchungen der Berl. Materialprüfungs-Anst. ergaben gleichartige Versuche betr. der Abnutzung das folgende Ergebnis:

	Abnutzungsgröße:
Granit	4,5 ccm
Basalt	6,0 „
Marmor	23,3 „
Eichenholz	7,8 „
Xylolith	7,6 „
Tonplatten	3,7 „
Linoleum	1,8 „

[2]) Je nach der Größe des Zimmers werden die Bahnen des Korkments zugeschnitten und mit Harzkopalkitt auf den Holz- oder Betonboden aufgeklebt, derart, daß die Oberseite des Kork-

Über die dem Linoleum in der Art der Herstellung nahestehende Lincrusta vgl. § 107 (Tapeten und verwandte Stoffe).

Seit wenigen Jahren wird als Ersatz für Linoleum für Fußböden, Treppenbeläge, Läufer, Teppiche, auch zur Wandbekleidung ein ersterem ähnliches Material mit der Bezeichnung „Ledra“ in den Handel gebracht, dem bei erheblich geringerem Preise die gleichen günstigen Eigenschaften wie dem Linoleum zugeschrieben werden[1]).

5. **Kautschuk und Guttapercha.** Der aus dem Milchsaft verschiedener tropischer Pflanzen, in neuester Zeit auch auf synthetischem Wege chemisch gewonnene Kautschuk kommt in eingetrocknetem Zustande als mehr oder weniger unreiner Rohstoff aus Süd- und Zentralamerika, aus Ostindien, Afrika und Australien. Seine Verarbeitung erfolgt, soweit seine technische Anwendung in Frage kommt, fast ausschließlich zu vulkanisiertem Kautschuk. Nachdem der Rohkautschuk mehrere Stunden hindurch mit Wasser ausgekocht und hierauf die erweichte, gelbliche Masse unter Zufluß kalten Wassers ausreichend durchgeknetet, also gereinigt worden ist, findet eine oft monatelange Trocknung in erwärmten Räumen statt; hieran schließt sich ein Auswalzen in dünne Platten, die alsdann mittelst Mischwalzen mit den zum Vulkanisieren dienenden Stoffen und etwaigen Farbbeimengungen vermengt werden. Das Vulkanisieren, bestehend in einer Vereinigung von gereinigtem Rohkautschuk mit rd. 10 v. H. pulverförmigem Schwefel bzw. an seiner Stelle Schwefelmetallen, wie Schwefelantimon, Schwefelwismut, und zwar bei einer Temperatur von 50—60° C und Erhitzung des Gemenges auf 127—136° C, hat den Zweck, ein Elastischbleiben des Kautschuks auch in der Kälte zu sichern[2]), ihm in der Wärme die Klebrigkeit zu nehmen und ihn gegen eine Anzahl Lösungsmittel, welche den Rohkautschuk angreifen, widerstandsfähig zu machen[3]).

Bei höherem Schwefelzusatze von etwa 30—60 v. H. der Kautschukmenge und Erhitzung der in Formen gepreßten Masse während längerer Zeit zwischen 136—142° C entsteht aus ihr Hartgummi (Ebonit), eine schwarze, durch Verwendung von rotem Antimonschwefel an Stelle des Schwefels und Zusatz von Kermesfarbe rotbraune, hornartige

---

ments nach unten zu liegen kommt und die in die Unterseite des Korkments eingebettete Jute nach oben zeigt; die Bahnen werden scharf aneinander gestoßen, doch soll ringsherum an den Wänden ein wenig Spielraum bleiben.

Nachdem der Kitt angezogen hat, also nach etwa 24 bis 48 Stunden, wird der verlegte Korkmentboden mit dem Hartlinoleum belegt; die Bahnen des Hartlinoleums sollen entgegengesetzt der Richtung der Bahnen des Korkments laufen; im übrigen ist das Hartlinoleum wie auf jedem anderen Boden zu verlegen, nur muß die Rückseite mit dünnem, flüssigem Harzkopalkitt stark bestrichen werden. Durch diese Verlegungsart wird bewirkt, daß die Rückseite des Hartlinoleums. also die Jute, auf das Jutegewebe des Korkments zu liegen kommt, sodaß etwa in der Mitte des Doppelbelages eine doppelte Juteschicht, innig verbunden, eingebettet ist. — Diese Juteschicht macht den Belag besonders widerstandsfähig gegen Eindrücke von oben, ohne daß die Elastizität oder die Wärmewirkung des Korkments irgendwie beeinflußt würden. Hierdurch ist auch dort, wo der Preis eine Rolle spielt, die Möglichkeit gegeben, ein dünneres Hartlinoleum zu verwenden, ohne befürchten zu müssen, daß es sich als nicht genügend widerstandsfähig gegen Verkehrseindrücke erweisen würde.

Als Vorzüge des Korkments sind zu nennen: Fugenlosigkeit, große Elastizität, Widerstandsfähigkeit, Schallabdämpfung, geringe Wärmeleitung, und zwar bereits bei 4 mm Stärke; auch ist Korkment feuchtigkeitsbeständig, gleicht kleinere Unebenheiten in der Unterlage gut aus, vergrößert die günstigen Eigenschaften des Linoleumbelages und ist wegen seiner geringen Stärke gegenüber Korkplatten konstruktiv im Vorzug, dabei auch im Preise billiger.

[1]) Hergestellt von der Ledrafabrik L. Schmidt u. Sohn, Dresden-A.

[2]) Rohkautschuk verliert seine Elastizität schon bei 0° C und wird in der Kälte hart, wenn auch nicht spröde; bei 100° C ist das Material sehr klebrig.

[3]) Hier kommt das Erweichen des Kautschukes in heißem Wasser, seine Löslichkeit in Äther, Chloroform, vielen Ölen, Schwefelkohlenstoff, Benzin usw. in Frage.

Masse, von hoher Gleichmäßigkeit, Elastizität und ausgezeichneter Härte; letztere kann durch vermehrten Zusatz von Schwefel, allerdings auf Kosten der Elastizität vergrößert werden; setzt man Asphalt, Harz u. dgl. Stoffe noch zu, so werden sowohl Härte als Elastizität günstig beeinflußt.

Gereinigter Kautschuk findet Verwendung zu Dichtungsarbeiten namentlich bei Türen und Fenstern, zur Herstellung wasserdichter Überzüge von Stoffen, zu Firnis, Kitt (S. 725), zum Überziehen elektrischer Drähte, die in feuchten Räumen liegen, während das vulkanisierte Material zu Griffen aller Art, im Instrumentenbau usw. benutzt wird.

Dem Kautschuk in seiner Herkunft, seiner Verarbeitung wie seinen Eigenschaften durchaus ähnlich ist **Guttapercha**, ebenfalls ein Milchsaft tropischer Bäume, der in getrocknetem, rohem Zustande eine rötliche Farbe und eine gleichartige Zusammensetzung aus dünnen, hautartigen, zähen Schichten erkennen läßt. Der durch Kneten in kaltem, weiterhin in erwärmtem Wasser mechanisch durch Walzen gereinigte Rohstoff kommt in besonderen Formen, oder zu dünnen Bändern ausgewalzt, oder zu Fadenform ausgezogen in den Handel. In gleicher Weise wie Kautschuk läßt sich auch Guttapercha, wenn auch nicht zu einer so vollkommenen gleichartigen Masse vulkanisieren und in hornartigen Zustand überführen; auch ist die Verwendung in der Technik annähernd die gleiche, wenn auch hier die Isolierung elektrischer Leitungen, namentlich unter Wasser und in feuchten Räumen, eine größere Rolle spielt. Da Guttapercha sehr scharfe Abdrücke liefert, findet sie auch in der Galvanoplastik Verwendung.

Erwähnenswert sind hier endlich die Kautschukin-Isoliertafeln von C. H. Seyfarth & Co. in Altona[1]), mit deren Hilfe es möglich ist, auf billige Weise, aber zuverlässig, kalte, feuchte, ja selbst schimmelige und salpetrige Wände derart zu isolieren, daß eine sofortige Aufbringung von Tapeten möglich wird und diese dauernd trocken bleiben; das gleiche gilt auch von jedem frischen Putz, dessen Trocknung bei Verwendung der vorgenannten Platten nicht abgewartet zu werden braucht; auch kann man u. U. den Putz vollkommen sparen und die Tafeln auf den rohen Wänden anbringen. Die 50 · 50 cm großen Platten sind aus dünner wellenförmiger und ebener Pappe hergestellt und mit einem besonderen Mittel getränkt und zudem mit zwei „Kautschukin-Anstrichen“ besonders widerstandsfähig gemacht. Die gewählte Querschnittsform der Platten bedingt eine isolierende Luftschicht, deren Wirkung noch dadurch unterstützt wird, daß die mit Tapeten zu beklebende Seite der Tafeln aus Filzpappe besteht, welche wasserfest auf dem zur Herstellung der Luftkanäle dienenden Wellenbau befestigt ist. Somit kann die Luft des Zimmers hinter der Tapete sowie innerhalb der Tafel frei zirkulieren, wodurch eine warme, trockene Wand und eine glatte Tapetenfläche erzeugt wird. Die nur $^1/_2$ cm auftragenden Tafeln werden unmittelbar auf die Wand mit verzinkten Nägeln so angenagelt, daß die blanke Seite gegen die Wand gekehrt ist und die ganze Bekleidung von der Fußleiste sowie von der Decke $^1/_2$ cm Abstand behält, die Luftkanäle von unten nach oben durchlaufen und die Nägel in den Fugen in Abständen von ca. 10 cm mit den breiten Köpfen die Enden der Tafeln festhalten. Bei sehr nassen Wänden ist es erforderlich, die Fugen und die Nägelköpfe mit Papierstreifen zu überkleben, die man kurz vorher mit Kautschukin-Anstrich bestrichen hat.

[1]) D. RGM. 189154, D. RWZ. 2681, 10467, 59191.

§ 104. Filz, Gewebebauplatten, Rohr und Stroh.

1. Bester aus Wollfasern hergestellter **Filz** wird im Baufache außerordentlich vielseitig, zur Stoß- und Schallabminderung, als Unterlagsmaterial für Träger, Schienen, Maschinen, unter Fußbodenbelägen, als Dichtungsfilz zum Abdichten von Türen und Fenstern, als Wärmeschutz zum Umhüllen von Rohrleitungen, Kesseln, für Schleif- und Polierscheiben usw. verwendet.

Einen besonders gut bewährten Filz stellt der nach patentiertem Verfahren erzeugte, vollkommen imprägnierte und oberflächlich gehärtete Eisenfilz der Filzfabrik Adlershof A.-G.[1]) dar. Dieser zeichnet sich durch sehr große Festigkeit (Druckfestigkeit rd. 1460 kg/qcm), dauernd verbleibende Elastizität und Unempfindlichkeit gegen zerstörende Einflüsse der Witterung, der Fäulnis, von Öl usw. aus. Seine Herstellung erfolgt aus langem, kräftigem, besonders elastischem Wollhaarmaterial auf besonderen Maschinen, endlich unter dem Drucke starker hydraulischen Pressen. Da die jeweilige Verwendung des Eisenfilzes einen verschieden hohen Grad der Elastizität bedingt, so wird der Filz diesen Gesichtsspunkten entsprechend in verschiedener Stärke, Imprägnierung, Zusammenpressung usw. hergestellt. Der mit einem neutralen Erdölfett getränkte Filz wird noch mit einer rd. 4 mm eindringenden, wasserdichten Oberflächenschicht[1]) gesichert. Tränkung und Oberflächenschutz sichern gemeinsam den Eisenfilz gegen die Einwirkung der Atmosphäre, von Staub, Feuchtigkeit, Öl, Insektenfraß u. dgl. und bewirken somit mittelbar eine dauernde Elastizität und Bewährung der Filzplatten. Ihre Verwendung ist eine sehr vielseitige und erstreckt sich hauptsächlich auf:

a) Schall- und Stoßisolierung der Eisenbahnschienen aller Art, unter den eisernen Unterlagsplatten dieser, und zwar sowohl auf Holz- als Eisenschwellen, ferner auf Brücken, hier zudem unter den Auflagerstellen der Schwellen auf der Konstruktion, auf den Seiten- bzw. Ringmauern von Löschgruben, Schiebebühnen, Drehscheiben usw. Hierbei wird durch die Verminderung der Erschütterungen, die Übertragung eines dauernd gleichmäßigen Druckes auf die Schienenstützfläche und die Sicherung gegenüber allen schädigenden Einflüssen zugleich auch eine lang dauernde Erhaltung des Oberbaues, verbunden mit geringen Unterhaltungskosten bedingt. Über die Bewährung der Filzplatten in diesem Sinne gibt die Anm.[2]) Auskunft.

---

[1]) Vgl. wegen weiterer Einzelheiten die sehr ausführliche Broschüre der genannten Firma in Adlershof bei Berlin, daneben das D.R.P. 90800 (v. 19. II. 1895) und D.R.G.M. 163461. Während letzterer Schutz sich auf die Herstellung des oben angeführten Linoleumfilzes bezieht, erstreckt sich das Patent auf die Härtung der Oberfläche der Filzplatte vermittelst einer für Wasser und Öl undurchdringlichen Schicht. Hierdurch wird erreicht:

1. Eine größere Widerstandsfähigkeit der Platten gegen die auf Zerstörung des Materials gerichteten, wiederholten Druck- und Stoßwirkungen der auf den Platten ruhenden Last.

2. Schutz gegen die Witterungseinflüsse durch Verhinderung des Eindringens von Feuchtigkeit.

3. Schutz gegen das Aufsaugen von Ölen (Schmiermaterialien).

Nachdem der Filz das erste Stadium der Präparation zur größeren Haltbarkeit der ganzen Platte durchgemacht hat, bestreicht man die Unterlagsplatte entweder mit einer Leimschicht, welche man 4 mm eindringen läßt, und tränkt dann diese Leimschicht in bekannter Weise mit Chromalaun, doppelchromsaurem Kali oder Natron oder nach dem Verfahren des Patentes Nr. 88114, Kl. 8, mit Formalin (Formaldehydlösung) und läßt die Platte trocknen, oder man verwendet eine Lösung von Kautschuk und vulkanisiert dann letzteren. Die 4 mm starke, äußere feste Schicht bildet dann ein festes Ganzes.

Der Patentanspruch lautet:

Elastische Unterlagsplatte aus Filz, deren Oberfläche durch gehärteten Leim oder vulkanisierten Kautschuk usw. bis zu einer gewissen Tiefe in eine feste Schicht verwandelt ist.

[2]) Die Betriebsinspektion I, Berlin, hat — nach Mitteilung der obengenannten Firma — auf dem Geleise der Berliner Stadtbahn verschiedene Schienenlängen mit 15 mm Filzunterlagsplatten zwischen

b) Im Hochbau. Hier handelt es sich darum, durch Einschaltung von Filzplatten an geeigneter Stelle sowohl die im Gebäude entstehenden Erschütterungen und Geräusche möglichst aufzunehmen bzw. unschädlich abzuleiten als auch die Schwingungen zu verhindern, welche in das Bauwerk durch die Stöße vom Straßenverkehr her übertragen werden; zu diesem Zwecke werden zweckmäßig die Fundamentmauern, die Auflager von Trägern, Balken, von Säulen, die Fußbodenbeläge usw. durch ein- bzw. untergelegte Eisenfilzlagen isoliert; hierher gehört auch die Verwendung eines besonderen, imprägnierten und oberflächlich gehärteten „Linoleumfilzes" der Adlershofer Werke, welcher für sich als Unterlage für Linoleum oder gleich in Verbindung mit diesem eingebaut wird und in Rollen von 5,00 m Länge, 1,50 m Breite und in Stärken von 6, 8, 10, und 15 mm geliefert wird. Durch Verwendung dieses Linoleumfilzes wird neben dauernder hoher Elastizität, eine angenehme Fußwärme, eine sehr erhebliche Schallabdämpfung, sowie eine Sicherung gegen Ungeziefer bewirkt.

c) Im Maschinenbau zur Isolierung jeglicher Art von Maschinen, namentlich schnell laufender Motoren und Antriebsmaschinen, die in Gebäuden Aufstellung finden. Die Stärken der Eisenfilze betragen: 10, 15, 20, 25, 30, 35 und 50 mm, die Größtabmessungen sind auf 0,75—0,80 m festgesetzt. Für größere Unterbettungsflächen empfiehlt sich die Anordnung mehrerer Lagen von Filzplatten mit gegeneinander versetzten Stoßfugen.

2. **Gewebebauplatten**[1]). Gewebebauplatten dienen den gleichen Zwecken wie die vorbesprochenen Filzplatten; auch ist ihre Anwendung genau die gleiche wie bei diesen. Sie sind aus abwechselnd angeordneten starkfädigen, festen Gewebeschichten und weichen Filzlagen hergestellt, die vor ihrer Zusammenfügung in einem antiseptischen Bade getränkt wurden; zudem werden sie noch als fertige Platten vollkommen gegen Witterungseinflüsse, den Angriff von Säuren, Alkalien usw. wirkungsvoll imprägniert. Durch die abwechselnden festen Gewebeschichten und weichen Zwischenlagen ist bedingt, daß die Platten stets weich und elastisch bleiben, da die festen Gewebelagen ein Ineinanderpressen der Filzteile verhindern, während die festen Schichten jegliches seitliche Ausweichen der Platten unter senkrechtem Drucke ausschließen, d. h. die Platten dauernd stabil machen. Diesen erheblichen Vorzügen tritt noch der — namentlich im Vergleiche zu guten Filzplatten — geringere Preis, sowie die letzteren gegenüber geringere Stärke als vorteilhaft hinzu.

Wie aus Prüfungen der Berliner mechanisch-technischen Versuchsanstalt hervorgeht, sind die vor dem Versuche 1,83 cm starken Platten bei einer Pressung von

eiserner Unterlagsplatte und Schwelle verlegt. Nach zweijähriger Frist hat sich trotz des starken Verkehrs noch keine merkliche Abnutzung und keine Verminderung der Elastizität gezeigt, während sich die gleichzeitig ohne Filz verlegten eisernen Unterlagsplatten in die Schwellen eingefressen haben. Die Schwellen, auf welchen Filzunterlagsplatten verlegt waren, sind vollständig intakt geblieben. Daß bei der, durch die Anwendung der Filzunterlagsplatten gleichzeitig erzielten, Verminderung der Stöße auch die Schienen und das rollende Material geschont werden, läßt sich mit Bestimmtheit voraussehen. Abgesehen hiervon, ergibt aber schon die Verwendung der imprägnierten Unterlagsfilze hinsichtlich der Schwellen einen wirtschaftlichen Nutzen, da dieselben weder durch Einfressen der eisernen Unterlagsplatten geschwächt werden, noch eine Herausnahme der Schwellen behufs Nacharbeiten nötig wird. Die Schwelle kann daher bis zu ihrer vollständigen Unbrauchbarkeit liegen bleiben; zudem werden die Stopfarbeiten durch die elastisch bleibende imprägnierte Unterlagsfilzplatte und die dadurch bewirkte ruhigere Lage der Schwelle ganz erheblich verringert.

1) Hergestellt von der Galvanischen Metall-Papier-Fabrik, A.-G., Berlin-N.; vergl. auch die Proschüre dieser Firma über die Anwendung der Gewebebauplatten im Eisenbahn-, Hoch- und Maschinenbau (D.R.P. 119776 und 128543).

25 kg/qcm bis auf 1,291 bei 300 kg/qcm bis auf 1,00 cm zusammengepreßt worden; 30 Minuten nach Beendigung des Versuches waren jedoch die Stärken bereits wieder 1,71 bzw. 1,55 cm, d. h. die Formänderungen waren vorwiegend elastischer Art, der Stoff selbst also sehr elastisch.

Bisher haben sich, namentlich im Eisenbahnbau und zwar zu Unterlagen auf den Schwellen, die Gewebebauplatten bestens bewährt[1]).

3. **Rohr.** Rohr findet Verwendung als Mauerrohr für Wände- und Deckenputz, sowie als Deckrohr zur Herstellung von, dem Strohdache entsprechenden Dächern.

Für Mauerrohr wird geschältes, reifes, gerade gewachsenes Schilfrohr von 9—12 mm Stärke verwendet, und in einfacher oder — besser — sich kreuzender doppelter Lage vermittelst von Draht und Rohrnägeln an dem Holzwerk befestigt, um hier als Träger des Putzes zu dienen und diesen somit unabhängig von den Bewegungen des Holzes zu machen, also dauernd rißfrei zu erhalten. Neben dem Rohre kommen für den gleichen Zweck auch Rohrgewebe, einfache und doppelte, in den Handel, bei denen die einzelnen parallelen Rohrstengel durch Drähte gehalten werden[2]). Ihre Breite geht von 1,0 bis 2,5 m; ihre Länge richtet sich danach, daß jede Rolle 10—20 qm bedeckt.

Auch gibt es Rohrmatten, die mit Hilfe von Draht auf Holzleisten befestigt sind und durch den Anschluß der letzteren zu Wand- und Deckenbekleidungen dienen.

Für Dächer wird ungeschältes Rohr benutzt, das hier in Längen von etwa 1,0—1,2 m und in Schichtenstärken von rd. 4,5 cm Anwendung findet. Rohrdächer zeigen dieselben Vorzüge, aber auch die Nachteile der Strohdächer, sind letzteren allerdings in bezug auf ihre Haltbarkeit etwas überlegen.

Deckrohr wird schockweise bezogen, das Schock zu 60 Bund von je 30 Bürden, von denen jede wieder aus 5 Bündeln zu je 15 Halmen besteht.

4. **Stroh.** Verwendet wird in baulicher Hinsicht fast nur das lange Weizen- oder Roggenstroh, letzteres gern zu Dachdeckungs-, ersteres vorwiegend zu Stakarbeiten, sowie als Zusatz zu Lehmpisee-Estrich usw. Bauten. Strohdächer werden in der Regel auf 30—40 cm weiter Lattung zweckmäßig vermittelst verzinkten Eisendrahtes (wegen Verringerung der Flugfeuergefahr) hergestellt. Ihre Dauer kann bei sachgemäßer Wartung und Unterhaltung zu rd. 25 Jahren gerechnet werden. Sie sind durch ihre Leichtigkeit, Billigkeit, den guten Wärmeschutz als sehr schlechter Wärmeleiter, die Schnelligkeit der Herstellung, die große Luftdurchlässigkeit vorteilhaft ausgezeichnet und besitzen noch heute eine bedeutende Verwendung im landwirtschaftlichen Bauwesen, obwohl dieser nicht unbedeutende Nachteile entgegenstehen; namentlich sind hier die leichte Entzündbarkeit, vor allem aber die Entstehung von Flugfeuer zu nennen, daneben die Zerstörung durch Mäuse usw. Wenn auch durch die Verwendung von Draht zur Befestigung des Strohes, wie bereits erwähnt wurde, ferner durch den sich meist bildenden Belag von Moos die Gefährlichkeit des Daches verringert wird, so sind doch Bestrebungen anerkennenswert, welche das landständige Dach durch Tränken des Strohes mit Lehmwasser, Kalkmilch, Zementschlempe u. dgl. auf billige Weise möglichst unentflammbar machen wollen.

Hierher gehört das sog. Gernentzdach, bei dem die einzelnen, 1,0 · 0,75 m großen, 8—10 cm starken, mittelst verzinkten Eisendrahtes gebundenen Strohplatten

---

[1]) Vergl. hierüber die in der obigen Anmerkung angeführte Broschüre über die Verwendung der Gewebebauplatten im Eisenbahnbau. Hier sind eine größere Anzahl von Benutzungsstellen genannt und Beweise für die vorzügliche Bewährung und dauernd sich vergrößernde Anwendung gegeben.

[2]) Diese Rohrgewebe werden hergestellt von der Firma Strauß und Ruß in Cottbus (D.R.P.).

mit einen dünnen Brei von Lehm und Gips oder Zement, dem Ammoniakwasser zugesetzt wird, getränkt und noch feucht auf die Lattung gebracht werden. Die nach dem Trocknen sich bildende, steife und harte Masse hat sich bei Brandversuchen als unverbrennbar erwiesen, sodaß das Dach z. Z. probeweise im Regierungsbezirk Stade als feuersicher zugelassen ist[1]).

Das Stroh wird nach Gebunden verkauft zu rd. 0,09 cbm. Inhalt.

Kapitel XXXII.

Glas, Anstriche und Tapeten.

§ 105. Die Herstellung des Glases, seine Arten, Färbung, Eigenschaften, Verwendung und Prüfung.

Die Rohmasse des Glases, gewonnen durch Zusammenschmelzen, und zwar in hoher Temperatur, von Kieselsäure mit Kali, Natron, Kalk, Tonerde, Blei-, Wismut-, Eisen- oder Manganoxyden, ist ein amorpher, durchsichtiger, harter, für Flüssigkeiten und Gase undurchdringlicher, spröder Körper, der gegenüber chemischen und mechanischen Einflüssen eine große Widerstandsfähigkeit zeigt.

Die hauptsächlichsten Stoffe zur Glaserzeugung sind:

a) Kieselsäure (etwa 70—75 v. H.), meist in Form von Quarzsand, auch pulverisiertem Feuerstein, fein gemahlenem Quarzfels, Infusorienerde u. dgl., für gewöhnlichstes Glas auch durch Mergelerde — überhaupt Gemenge von Tonerde, Kieselerde und Kalk — ersetzt; auf Reinheit dieser Stoffe, namentlich das Fehlen von das Glas verfärbendem Eisen, ist besonders Wert zu legen.

b) Alkalien (rd. 10—15 v. H.), die eine Leichtflüssigkeit des Glases bedingen, vorwiegend Pottasche oder Soda, Kochsalz, Glaubersalz u. dgl.

c) Kalk (10—16 v. H.), um die Masse wetterbeständiger, härter, glänzender zu machen, zugesetzt i. d. R. als Kalkstein (Marmor, Kreide), Kalktuff, Kalkspat, manchmal ersetzt durch kieselsauren Kalk oder Strontianit.

d) Besondere Beimengungen: Hier sind namentlich zu nennen Bleioxyd (in Form von Mennige), zur Verbesserung des Glasflusses, wie zur Vergrößerung seiner Durchsichtigkeit und seiner Lichtbrechung; Zinnoxyd für Milchglas, sowie Glasabfälle, deren Zusammensetzung dem zu erzeugenden Glasflusse naturgemäß angepaßt sein muß u. a. m.

Da in den Rohstoffen stets Verunreinigungen, namentlich Eisenverbindungen und Schwefelsalze, vorhanden sind, ist die Rohglasmasse fast niemals wasserklar; sie erfordert deshalb Zusätze zur Entfärbung; als solche finden für die durch Eisen bedingte, mehr oder weniger grüne Verfärbung rote Farbmittel (d. h. die Komplementärfarbe) Benutzung, und zwar Braunstein (Mangansuperoxyd ausscheidend)[2]), daneben Selen, besser Nickeloxyd oder besondere Sonderentfärbungsmittel, während gegen die von Schwefelverbindungen bedingte Gelbfärbung Salpeter, arsenige Säure u. dgl. als entfärbend wirksam sind.

[1]) Z. d. B. 1908. Nr. 47.

[2]) Nicht selten zeigen durch Braunstein farblos gemachte Gläser später unter Einwirkung des Sonnenlichtes eine rötliche bis violette Färbung, bedingt durch höhere Oxydation des Mangans. Diese Verfärbung kann durch Erhitzung der Glasmasse wieder beseitigt werden.

Als Farbstoffe für Glas dienen Metalloxyde, die sich mit den Silikaten der Glasmasse verbinden.

Verwendet wird für:

Rot: Goldpurpur (Rubinglas), Kupferoxydul mit Zinnasche, Selen, Eisenoxyd (für gewöhnliche Gläser).

Grün: Chrom-, Nickel-, Kupferoxyd, Chromoxyd mit Eisenoxydul (für Flaschen usw.).

Blau: Kobaltoxyd, Kupferoxyd.

Braun: Eisenoxyd und Braunstein.

Gelb: Silberoxyd-, Antimon-, Blei-, Uran- und Kadmiumverbindungen verschiedenster Art, Eisenoxyd.

Violett: Braunstein und Eisenverbindungen, auch Nickeloxyd.

Weiß (Milchglas): Knochenasche (Kalkphosphat), Zinnoxyd, Bleioxyd.

Opalglas (schillernd): Silberoxyd und Knochenasche.

Naturgemäß lassen sich durch Vermischung der einzelnen Farbbeimengungen sehr verschiedenartige Zwischenstufen von Färbungen erzeugen.

Neben Glasflüssen, die vollkommen in ihrer ganzen Masse gefärbt sind, kann man auch farbloses Glas, nur mit einer sehr dünnen gefärbten Glasschicht überzogen, herstellen — Überfangglas. Zu diesen Arbeiten finden i. d. R. blei- oder boraxhaltige, leichtflüssige Gläser Verwendung.

Endlich läßt sich auch Glas oberflächlich färben durch Aufwalzen bunten Glasstaubes auf seine Oberfläche und Einschmelzen dieses; hierbei kann der verschiedenfarbige Glasstaub in Form von Ornamenten usw. aufgebracht und somit ein billiger und dabei wirkungsvoller Ersatz für bunte Glasfenster geschaffen werden[1]).

Das ungefärbte Glas wird, je nach der mehr oder weniger grünen Färbung, welche sich beim Betrachten seines Querschnittes zu erkennen gibt, unterschieden in: grünes (Flaschen), halbgrünes, halbweißes, dreiviertelweißes, weißes und ganz weißes Glas; zu der letzteren Art gehört das Spiegelglas, zu den anderen das gewöhnliche oder bessere Material für Verglasungen, Oberlichter und Glasbausteine.

Die Herstellung des Glases erfolgt durch ein Zusammenschmelzen der gereinigten und miteinander in dem genau vorher bestimmten Verhältnisse gemischten Rohstoffe, gegebenenfalls unter Zufügung von geeigneten Glasabfällen, und zwar entweder in sog. „Häfen", d. s. große Becken aus feuerfestem Ton, die in Schmelzöfen eingestellt werden, oder in unmittelbar mit Vertiefungen versehenen, i. d. R. wirtschaftlicher — namentlich im Hinblicke auf Brennmaterial- und Raumausnutzung — arbeitenden Wannenöfen.

Nachdem die Glasmasse aus ihrem dünnflüssigen, weißglühenden Zustande und nach Fortnahme der auf ihrer Oberfläche schwimmenden, nicht schmelzbaren „Galle" durch „Decken" des Feuers in eine teigartige, zähflüssige Beschaffenheit gelangt ist, findet ihre Verarbeitung statt.

Letztere kann bestehen in:

1. Ausblasen des Glases i. d. R. durch Arbeiter, in neuerer Zeit auch durch Maschinen, namentlich Dampfkraft, entweder für Tafelglas in Form von Hohlzylindern, die dann an einer Seite aufgeschnitten, gestreckt und zu Plattenform ausgewalzt werden, oder in besonderen Formen für die verschiedensten Gebrauchsgegenstände.

---

[1]) Hergestellt von den Sächsischen Glaswerken zu Deuben.

2. Gießen, Walzen und Formen des Glases, unter Umständen unter gleichzeitigem Pressen.

Bei beiden Herstellungsarten ist auf eine sehr langsame und gleichmäßige Kühlung — in besonderen Kühlöfen ausgeführt — besonders zu achten, da hiervon in erster Linie die Festigkeit und Zähigkeit des Glases abhängt.

Glas ist vollkommen durchsichtig, undurchdringlich für Flüssigkeiten und Gase, bequem und vielseitig formbar, dehnt sich wenig bei Temperaturänderungen aus (kubische Ausdehnungszahl 0,000023 i. M.), schmilzt zwischen 800—1400° C, zeigt ein Raumgewicht von rd. 2,6[1]) und ist, namentlich bei höherem Gehalt an Kieselsäure und geringeren Beimengungen an Bleioxyd und Alkali ausreichend hart. Im allgemeinen ist die Oberfläche härter als das Innere der Glasmasse, jede rohe Gußfläche also auch widerstandsfähiger als eine geschliffene. Das gleiche gilt von der Innenfläche des geblasenen Glases gegenüber dessen Außenseite. Die Wetterbeständigkeit richtig zusammengesetzten, kieselsäurereichen Glases ist eine durchaus gute; ein Erblinden und Anlaufen (oft bei Gegenwart von Ammoniakdämpfen) erfolgt meist nur bei stärkerem Gehalt des Glases an Blei und Alkali, namentlich Natronsalzen. Fluorwasserstoffsäure zerstört selbst das festeste Glas und findet zum Ätzen desselben Verwendung. Daneben kann das Mattieren von Glas in ganzer Fläche oder nach Abdecken einzelner Teile des Glases bzw. unter Verwendung von Schablonen auch durch Einwirkung des Sandstrahlgebläses erfolgen. Über die Prüfung des Glases auf Wetterbeständigkeit vgl. weiter unten.

Die hauptsächlichste, den Architekten und Ingenieur angehende Verwendungsart des Glases ist — abgesehen von den schon in Kapitel XXI auf Seite 228—234 behandelten Glasbausteinen — seine Benutzung zu Verglasungen und Oberlichtern.

Nach der Art der Herstellung unterscheidet man hierbei:

1. Das geblasene (Fenster-)Glas. Abgesehen von der, die größere oder geringere Reinheit bezeichnenden, heute nur noch seltener als Unterscheidungs-, mehr als Qualitätsmerkmal herangezogenen Schnittfarbe (vgl. S. 746) benennt man das Glas nach seiner Herkunft als:

Rheinisches Glas, nicht unter 2,0 mm stark, und bis zu 3,0 m Höhe angefertigt, sächsisches Glas, 2—2,5 mm dick, bis 1,60 m hoch, sehr rein, schlesisches Glas, 1,5—2 mm stark.

Zu besseren Fensterverglasungen wird vorwiegend das rheinische Glas, 2, 3 und 4 mm stark, unter der Benennung $^4/_4$, $^6/_4$ und $^8/_4$-Glas verwendet, von denen die stärkste Sorte, meist geschliffen, als Spiegelscheibe Benutzung findet. Die Preise richten sich nicht nach der Flächengröße, sondern nach „addierten cm“, d. h. der Summe von Höhe + Breite der Platten (H + B).

Die gewöhnlichen Handelsgrößtmaße sind für H = 2,00—1,65, für B = 1,02 m, jedoch kommen auch ausnahmsweise Abmessungen von H = 3,05, und B = 1,16, d. h. Glasplatten von einer Größefläche = 3,5 qm vor.

Nach Versuchen von Schwering beträgt die Elastizitätszahl des geblasenen Tafelglases bei Biegung rd. 750000 kg/qcm, die Biegefestigkeit 375 kg/qcm. Für die zulässige Beanspruchung empfiehlt sich bei dreifacher Sicherheit die Zahl 125 kg/qcm.

2. Das gegossene Rohglas. Die Herstellung erfolgt durch Aufgießen der rohen, weißglühenden Glasmasse auf vorgewärmte, gehobelte und polierte Metallplatten, und zwar in Stärken von normal 4—30 mm und in besonderen Fällen bis 90 mm. Die

[1]) Hiervon bilden eine Ausnahme die erheblich schwereren Bleigläser, deren Raumgewicht bis 6,3 geht.

für Oberlichter verwendeten Stärken liegen meist zwischen 5 und 12 mm, da die dünneren Platten nicht immer zuverlässig und weniger fest sind, die stärkeren oft durch innere Gußspannungen leiden, welche ein plötzliches Zerspringen der Platten zur Folge haben. Tafeln bis 1,5 qm Größe ($H_{max} \leqq 2{,}70$ m, $B_{max} \leqq 99$ cm) sind als Handelsware zu haben, während die größten Abmessungen 5 . 3 m betragen. Die Elastizitätszahl ist zu rd. 764 000 kg/qcm bestimmt; die Biegefestigkeit nimmt mit zunehmender Stärke („δ“) ab:

$\delta =$	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	mm.
$\sigma =$	360	330	300	280	258	240	214	200	200	200	kg/qcm.

Auch hier reicht eine dreifache Sicherheit bei Wahl der zulässigen Biegungsspannung aus.

Abarten des gegossenen Glases sind:

a) Das Drahtglas. Bei diesem wird um ein dünnes, engmaschiges Gewebe von Eisendraht die glühende Glasflüssigkeit in der Art herumgegossen, daß das Drahtnetz allseitig von der Glasmasse umhüllt ist. Während bei den düunen Platten aus Gründen der Herstellung die Drahteinlage nur in die Mitte der Glasplatte gelegt werden kann, findet sie bei stärkeren Platten nahe einer der Außenflächen ihre Lage. In gleicher Weise wie bei den Verbundbauten hat auch hier die Eiseneinlage die Hauptaufgabe, die Biegefestigkeit des namentlich wenig zugfesten Glases erheblich zu vergrößern; die stärkeren Drahtglasplatten sind deshalb auch stets so zu verlegen, daß das Drahtnetz in der Zugzone, d. h. bei Oberlichtern nach unten zu liegen kommt. Zudem sorgt die Eisenbewehrung der Glasplatten dafür, daß selbst bei plötzlichem Zerspringen, wie es z. B. eintritt, wenn bei einem Brande die Glasplatte vom Wasserstrahl der Spritze getroffen wird, der Zusammenhang der Platte immer noch gewahrt bleibt und nur feine Risse entstehen; hierdurch aber wird dann weiter eine Verqualmung anschließender Räume bzw. ein Eindringen von atmosphärischer Luft zum Herde des Feuers verhindert, worin ein weiterer großer Vorzug des Drahtglases gegenüber dem gewöhnlichen Guß- bzw. geblasenen Glase zu erblicken ist.

Die Biegungsfestigkeit kann zu rd. 500 kg/qcm, die aus ihr sich ergebende zulässige Biegungsspannung zu etwa 170 kg/qcm gerechnet werden; allerdings sei erwähnt, daß bei Erhitzen der Drahtglasplatte die erstere Zahl erheblich herabgeht, und bei 260° C nur noch 214 kg/qcm, bei 400° C nur noch 156 kg/qcm beträgt.

Das Glas wird in Stärken von 7—30 mm, u. U. auch bis 60 mm geliefert. Die üblichen Stärken für Oberlichter sind 7—10 mm. Die Größtabmessungen der Tafeln sind 2,25 qm bei $H_{max} = 2{,}50$ m und $B_{max} = 1{,}00$ m (naturgemäß nicht zusammen!).

Da Drahtglasplatten nachträglich kaum ein Beschneiden gestatten, sind sie in genauer Größe zu bestellen.

Daneben gibt es ein starkes „genarbtes“ Drahtglas für Fußbodenplatten, 15—35 mm stark, und in beliebigen Größen bis zu 0,75 m Breite und 1,20 m Länge geliefert, sowie ein solches mit gemusterter, das Licht brechender und undurchsichtiger Oberfläche. Dieses kommt allerdings nur in Stärken von 4—8 mm und einer größten Fläche von 0,75 qm bei 4—5 mm Stärke ($H_{max} = 1{,}50$ m, $B_{max} = 0{,}85$ m) und 1,50 qm Fläche, 6—8 mm stark ($H_{max} = 2{,}00$ m, $B_{max} = 0{,}85$ m) in den Handel,

b) Ornamentglas, ein mit ornamentalem, vertieftem Muster versehenes 3 mm starkes undurchsichtiges Gußglas, wird entweder durch glatte Walzen auf gravierter Unterlage oder umgekehrt, d. h. auf glatter Unterlage und mit gravierten Walzen her-

gestellt. Diese Gläser können bis zu 201 cm Höhe und 69 cm Breite geliefert werden, jedoch empfiehlt es sich im Interesse größerer Haltbarkeit und besseren Aussehens die Abmessungen 1,29 und 0,69 m nicht zu überschreiten.

c) Kathedralglas ist ein 2—3 mm starkes gegossenes Glas, dem man, zur Nachahmung alten fehlerreichen mit Bläschen und Strichen durchsetzten Glases, absichtlich gewisse Mängel verleiht, wie eine geringere Klarheit und Durchsichtigkeit, eine wellige Oberfläche, eine matte, weiche Färbung usw., wodurch sich solche Gläser zu bunten Fenstern, Glasmalereien usw. eignen.

Hierher gehören auch die durch Zusammenschmelzen verschiedenfarbiger und milchiger Gläser gewonnenen, meist farbenprächtigen, durch schönes Farbenspiel ausgezeichneten undurchsichtigen Opaleszenz-Gläser.

d) Spiegelglas, ist ein geschliffenes, besonders fehlerfreies Rohglas von 4—8 mm endgültiger Stärke; die Kante wird oft mit einer „Face" versehen und das Glas alsdann als Facettenglas bezeichnet. Derartige Gläser finden u. a. auch Verwendung zu dem sogen. Elektroglase, bei dem einzelne, meist kleinere, rechteckige, wasserhelle, aber auch in beliebiger Ornamentform geschnittene, bunte Glasscheiben durch ein zwischengefügtes Sprossenwerk aus dünnen Kupferstreifen dadurch zusammengefaßt werden, daß man das Ganze in ein Kupfersalzbad bringt und auf den Sprossen elektrolytisch Kupfer niederschlägt, sodaß feste, zusammenhängende Glasscheiben entstehen. Diese haben sich als sehr widerstandsfähig gegenüber Schadenfeuern erwiesen, sodaß Elektroglas als feuerfeste Verglasung für Brandmauertüren, in Warenhäusern usw. zugelassen ist.

3. Preßhartglas. Die auf richtiges Maß zugeschnittenen Gußtafeln werden zunächst wieder bis zum völligen Erweichen erhitzt, alsdann auf eine gußeiserne Bodenplatte gebracht und während des Erkaltens durch eine entsprechende obere Eisenplatte belastet, d. h. gepreßt. Obwohl die Widerstandsfähigkeit solcher Glasplatten gegen Stoß, Zug und Druck sehr groß ist, auch die Biegefestigkeit zu rd. 1000 kg/qcm angenommen werden kann, daneben auch größte Flächenmaße von $1{,}3 \times 0{,}9$ m bei Stärken von 2—25 mm erzielt wurden, haben sich die Platten doch nicht erheblich einzubürgern vermocht, weil sie — abgesehen von ihrem höheren Preise — nicht allzu selten ohne besonderen Grund zersprungen sind

Vergleicht man die — ausgenommen das Drahtglas — hauptsächlich zu Oberlichtern verwendeten beiden Glasarten, das geblasene und das gegossene Glas miteinander, so ergibt sich, daß das erstere meist fester und gegen Hagel widerstandsfähiger ist als das letztere, aber nur in verhältnismäßig kleinen Abmessungen, zu haben ist. In dieser Hinsicht sind die Rohglastafeln vorzuziehen, wenn auch für ihre größte Länge im wirtschaftlichen Sinne dadurch eine Grenze gesetzt ist, daß erfahrungsgemäß bei Glasplatten bis zu 1.00 m Größtabmessung die jährlich zu ersetzenden Oberlicht-Glasplatten den Längen dieser, darüber hinaus aber dem Quadrat der Länge proportional sind. Es liegt auf der Hand, daß die letzteren Nachteile dem sehr viel bruchsicheren Drahtglase nicht anhaften, daß letzterem also im allgemeinen der Vorzug gebührt, um so mehr als die hier verwendbaren recht erheblichen Plattengrößen die Anzahl der Fugen im Dache verringern und durch die Weitlage der stützenden Sprossen und die große Entfernung der Stoßfugen auch die das Licht nehmenden, also verdunkelnden Flächenteile auf ein Mindestmaß beschränken.

Als Fehler des Glases kommen vor:

1. Eine unrichtige Zusammensetzung, indem zuviel Kalk, Alkali oder Bleioxyd ein

Erblinden bewirkt, Manganbeimengungen bei Sonnenbestrahlung ein Verfärben bedingen können u. dgl.

2. Fehlerhafte Schmelze, insbesondere das Verbleiben ungelöster Quarzkörnchen im Glase, ferner Bläschen, meist das Zeichen nicht genügender Hitze bei Beginn des Schmelzens, weiter unregelmäßige Stellen — Schlieren — mit anderer Lichtbrechung usf.

3. Unvollkommene Kühlung, vor allem feine Haarrisse (Kaltrisse), die bei leichtem Aufschlagen mit einem Hammer sich schnell, zackig verlaufend, vergrößern, ferner windschiefe Formen, rauchige Stellen auf dem Glase, durch Staubansatz während des Abkühlens hervorgerufen u. a. m.

Während die rein mechanischen Fehler leicht bei genauer Abnahme der Glasplatten festzustellen sind, wird die Wetterbeständigkeit des Glases vorwiegend durch chemische Reagenzien geprüft. Dies geschieht — am einfachsten — entweder durch Kochen eines Glasstückes in konzentrierter Schwefelsäure bzw. in Königswasser, oder durch Erhitzen in einem Bette von Eisenvitriol, genauer dadurch, daß man die Gläser den Dämpfen rauchender Salzsäure während 24 Stunden aussetzt und die mit fein verteilter Säure bedeckten Proben darauf einen Tag lang in einem abgeschlossenen Raume aufbewahrt. Bei diesen Proben darf kein Erblinden oder Rauhwerden des Glases eintreten bzw. bei der Salzsäureprobe keine Anlaufhaut auf der Glasoberfläche sich zeigen.

Eine gute Kühlung des Glases ist durch den Polarisationsapparat zu kontrollieren, indem gut gekühlte Gläser in ihm das Licht nicht zersetzen.

Endlich seien anschließend noch Glasmosaiken, sowie die ihnen nahestehende „Musiv"-Verglasung[1]) erwähnt; letztere besteht in einer dekorativen Ausschmückung von Außen- und Innenflächen durch gemalte oder naturfarbige Kathedral- und Opaleszenzgläser, verlegt in Gips, Kalk oder Zement. Hierbei werden die einfarbigen Glasstücke oder getönten Gläser einfach hintermalt, alsdann durch einen Deckgrund gegen das Durchdringen schädlicher Stoffe aus der Mauer gesichert und zusammenhängend unmittelbar in den Putzgrund eingelassen; nur Opaleszenzgläser werden hierbei ohne jegliche Behandlung in die Putzfläche eingefügt. Eine gleichartige, in künstlerischer Beziehung allerdings erheblich gesteigerte Wirkung verfolgen auch die Lindemannschen Tillrén-Platten[2]), d. h. Dekorationstafeln aus bemaltem Doppelglas für auffallendes Licht, die zur Herstellung von Wandfüllungen, Friesen, Deckenschmuck, als Einlagen in Möbel usw. eine sehr vielseitige Anwendung finden können. Sie bestehen i. d. R. aus künstlerisch behandelten Kathedral-Glastafeln, die mit stilisiertem Pflanzenwerk usw. derart bemalt sind, daß die Umrisse kräftig hervortreten, die Formen selbst aber bald mit zarten, bald mit kräftigen Farben ausgefüllt werden; auch hier wird die bemalte Fläche der Wandseite zugekehrt, wodurch eine gute Haltbarkeit der Malerei verbürgt erscheint, und eine undurchdringliche Unterlage unter den Glasplatten angeordnet.

§ 106. Anstriche, Farben und Lacke.

Wegen der für Eisenkonstruktionen verwendeten Anstriche, deren Eigenschaften und Aufbringung sei auf die ausführlichen Darlegungen in § 87 S. 549—554, sowie auf die

[1]) Hergestellt von A. Fischer, Dresden-A. DRGM.
[2]) Hergestellt von Frau Prof. Lindemann, München.

Nachträge in Anm.[1]) verwiesen. In letzterer ist auch ein Beispiel dafür gegeben, in welcher Art Farben und Farbanstriche in technischer Hinsicht in den Material-Prüfungsanstalten geprüft werden.

Im Hinblicke auf § 87 sei demgemäß hier nur auf die Anstriche von Putz-, Stein- und Holzflächen genauer eingegangen.

Im allgemeinen sind diese Anstriche, bestehend aus einem Bindemittel und einem Farbstoffe —, gute Rohstoffe und richtige Verarbeitung vorausgesetzt — um so dauerhafter, je dünner und gleichmäßiger der Auftrag mit dem Pinsel erfolgt, wobei stärkere Anstriche durch wiederholte dünnere auf die vorher vollkommen getrockneten zu erzielen sind. Hierbei sind die Streichrichtungen so zu wählen, daß bei Holz die letzten Anstriche mit

---

[1]) Im § 87 sind als Eisenschutz behandelt die Anstriche mit: Ölfarben im allgemeinen, namentlich Blei- und Zinkweißfarben, ferner Rathjens Patent-Komposition, Bessemerfarbe, Schuppenpanzerfarbe, Hansa-Komposition, Nautonfarbe, Siederosthen-Lubrose, Ferrubron, Zoncafarbe, Durabofarbe, Inertol, Danboline, Münchs Dauerfarbe, die Porzellan-Email-Farbe von Rosenzweig, Crudol, Indurin, Teeranstrich usw. Zu den dort gegebenen Erläuterungen seien als Nachtrag noch erwähnt:

Rubol — hergestellt von der Ruberoid-Gesellschaft (Hamburg) — ein Schutzanstrich für Eisen, ebensowohl wie für Zement- und Mauerwerk über und unter der Erde. Die streichfertig gelieferte und kaltflüssig verarbeitete Farbe stellt einen glasurartigen, tiefschwarzen Überzug dar, der dauernd luft- und feuchtigkeitsdicht, sowie vollkommen wetterbeständig ist; auch widersteht Rubol bestens den Angriffen von Säuren, Laugen und aggressivem Wasser und trocknet in etwa 12 Stunden. Für Eisen genügen zum Anstriche von 10 qm 1 kg Farbe, für Betonflächen und Mauerwerk die doppelte Menge.

Hetzels Rubber Paint (vgl. auch S. 725) von C. Schilling, Mannheim, eine sehr elastische, schnell trocknende, wetterbeständige, giftfreie Rostschutzfarbe, die auch bestens heißem, fließendem Wasser und Dampf zu widerstehen vermag.

Riessolin-Oxyd der Dessauer Rostschutzwerke, für Eisenbauten bestens empfohlen.

Meißner Farben (von den Farbwerken R. Meißner, Heidenau bei Dresden). Die allen Anforderungen entsprechenden, nach den bisherigen Untersuchungen und den Ergebnissen einer vielseitigen Verwendung in der Praxis bestens bewährten Farbanstriche, geeignet in gleicher Weise für Eisen, wie für Holz, Putzflächen usw. werden in verschiedener Form: als Paste und dünn, d. h. streichfähig, daneben in jeder beliebigen, hellen und dunklen Farbstellung geliefert. Über die Prüfung dieser Farben, ausgeführt von dem Kgl. Material-Prüfungsamte zu Groß-Lichterfelde-West, geben die nachstehenden Mitteilungen Auskunft, wie oben erwähnt, als Beispiel für die Art und Ausdehnung solcher Untersuchungen hier angefügt.

Geprüft wurden neben dem weiter unten besonders behandelten Eisenüberzugsöl die als Nr. 12 (bzw. 9) und 1 bezeichneten hellbraunen bzw. rotbraunen Anstrichmassen, die streichfertig von der Firma geliefert wurden. Es sollte bestimmt werden die Deckkraft, der Farbaufwand, die Trockenfähigkeit, die Elastizität der getrockneten Anstriche, das Verhalten gegen Witterungseinflüsse, gegen Erhitzen auf dem Wärmebade, endlich gegen Sonnenbestrahlung. Zur Herstellung der Streichproben wurden Eisen- bzw. Zinkbleche von 0,5 mm Stärke verwendet, die das Prüfungsamt lieferte.

Um die Deckkraft zu bestimmen, wurden auf quadratische Zink- (Farbe 12) und Eisenbleche (Farbe 1) von 50 . 50 cm Kantenlänge je 3 Streifen von 5 cm Breite mit gewöhnlicher schwarzer Ölfarbe gezogen, nach deren Trocknung die Bleche mit den zu untersuchenden Farben so oft gestrichen wurden, bis die schwarze Farbe nicht mehr durchschien, der hierzu notwendige Farbaufwand wurde durch die Ermittelung der Gewichtszunahme festgestellt. Die Streicharbeit wurde von geübten Malern ausgeführt, denen es überlassen war, die Farbmenge nach eigenem Ermessen aufzutragen. Nach Aufbringen des ersten Anstriches schienen die schwarzen Streifen noch deutlich durch und zwar auf dem Eisenblech weniger als auf dem Zinkblech, wie das ja aus der für letzteres verwendeten hellen Farbtönung gegenüber dem dunkleren Anstriche auf dem Eisen auch erklärlich sein dürfte. Der zweite Anstrich deckte hingegen vollkommen. Der Farbaufwand betrug bei Anstrich 12: 105 g/qm, bei 1: 112 g/qm. Bezüglich der Deckkraft wurden in gleicher Weise mit Eisenblech, dann mit Trägerstücken noch recht beachtenswerte Vergleichsversuche mit Bleimennigeölfarbe und Bleiweißölfarbe durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden beiden Zu-

den Fasern gleichlaufenden Pinselstrichen, bei Decken nach den Fenstern hin gerichtet sind.

Der Zweck der Anstriche kann ein mehrfacher sein und bestimmt deshalb i. d. R. die Art der zu wählenden Farbe. Hier kommt in Frage ein Schutz der anzustreichenden Flächen gegen Feuchtigkeit, gegen atmosphärische Einflüsse u. dgl., die Erzielung mehr oder weniger vollkommen glatter Flächen, die Farbgebung als solche u. a. m. Je nachdem der Anstrich das Material vollkommen decken bzw. seine Struktur, unter Umständen auch Farbe noch nachträglich erkennen lassen soll, unterscheidet man Deck- und Lasurfarben; zu den letzteren gehören auch in gewissem Sinne die für Holz benutzten Beizen, welche die Eigenart der Holzart auch nach dem Überstreichen noch erhalten. Bei den

sammenstellungen wiedergegeben; bemerkenswert erscheint der sehr erheblich geringe Farbverbrauch der Meißnerschen Grundfarbe Nr. 1.

I. Vergleichsversuch mit Eisenblech-Anstrichen.

Anstrichmasse	Farbaufwand in g/qm für		Bemerkungen
	1 Anstrich	2 Anstriche	
Farbe 1 rotbraun (Grundanstrich)	44	—	Der erste Anstrich deckt völlig.
Farbe 9 dunkeliggrau (Deckanstrich)	—	96	Der erste Anstrich deckt die schwarzen Streifen gut; der Farbton des Bleches scheint noch stark durch, der zweite Anstrich deckt völlig.
Bleimennigeölfarbe	—	252	Beim ersten Anstrich werden die schwarzen Streifen ziemlich gedeckt, nicht der Farbton des Bleches. Der zweite Anstrich deckte vollkommen.
Bleiweißölfarbe	48	—	Der erste Anstrich deckt völlig.

II. Vergleichsversuch mit Trägerstücken.

Verwendet wurden hierbei I-Träger Norm.-Profil Nr. 50 von je 150 cm Länge; vor dem Auftragen der Farben wurden alle Streichflächen mittelst Drahtbürsten gereinigt und durch Staubbürsten von dem anhaftenden Staube befreit. Neue Anstriche wurden nach dreitägigem Trocknen aufgebracht. Die in der Zusammenstellung angegebenen Zahlenwerte stellen die Mittel aus je 2 Versuchen dar.

Anstrichmasse	Farbaufwand in g/qm bei Anstrich			Gesamtfarbaufwand in g/qm für Anstriche		Bemerkungen
	1	2	3	2	3	
Farbe 1 rotbraun (Grundanstrich)	78	80	—	158	—	Der erste Anstrich deckt bereits.
Farbe 9 dunkelgrau (Deckanstrich)	75	65	65	—	205	Die Farbe dunkelt nach dem Anstriche nach.
Bleimennigeölfarbe (Grundanstrich)	150	167	—	317	—	Der zweite Anstrich deckt noch nicht vollkommen.
Bleiweißölfarben (Deckanstrich)	24	68	68	—	210	—

Auch wurde festgestellt, daß mit 1 kg streichfertiger Meißnerscher Farbe sich 12—20 qm Anstrichfläche in bester Weise mit einem vollkommen glatten Farbüberzuge versehen lassen und daß der Grundanstrich, soweit die Versuche bisher ausgedehnt worden sind, d. h. über zwei Jahre hinaus, ohne Deckanstrich einen wirksamen Schutz für die

Deckfarben kommen u. U. auch besondere Grund- und die auf ihnen erst aufgebrachten, eigentlichen Deckfarben in Frage.

Die verwendeten Farben sind vorwiegend natürlicher Art, „Erdfarben", oder auf chemischem Wege erzeugte. Zu den ersteren gehören:

Kreide-Weiß — vorwiegend Grundfarbe für Leimanstrich —, Baryt-Weiß (nicht geeignet für Ölanstriche), Ocker-Gelb und -Braun mit ihren Abarten Terra-Sienna, einer besonders schönen Lasurfarbe, und Umbra, ferner Ocker-Rot (oder gebrannter Ocker), Ultramarinblau, Kobaltblau, grüne Venezianerde, Veroneser-Grün (ein wasserhaltiges Eisensilikat), Van Dyck- oder Casseler-Braun (eine erdige Braunkohle mit Eisenoxyd), verblassend, schlecht trocknend, Asphaltbraun (nur für Ölfarben geeignet, aber auch hier

Eisenflächen gegenüber dem Einflusse der Witterung und einer Rostbildung abgegeben hat, sowie daß er einen dauernd klebfreien Untergrund liefert.

Zum Zwecke der Prüfung der Farben auf ihre Trockenfähigkeit wurden Streifen schwach geleimten Papieres an einmal und zweimal gestrichenem Bleche von 20 × 20 cm nach verschiedener Trockendauer so oft angedrückt, bis keine Farbe mehr an dem Papier haftete. Es ergab sich eine Trocknungszeit für

Farbe 12: bei einem einmaligen Anstriche von 15, bei zweimaligem von 14
„ 1: „ „ „ „ „ 15½, „ „ „ 15½ } Stunden.

Der Anstrich genügt also vollkommen der Forderung, die im allgemeinen von den Verwaltungen gestellt wird, daß die Farbe derart trocknen soll, daß 24 Stunden nach beendetem Anstriche kein Regen ihr mehr Schaden zufügen kann.

Zur Feststellung der Elastizität der Anstriche wurden 20 Blechstreifen von 3 . 25 cm Kantenlänge zweimal einseitig gestrichen und zunächst im Zimmer aufbewahrt; je 5 Streifen wurden, nach 8 Tagen, 3, 6 und 12 Monaten an einem Ende beginnend um Dornen vom Durchmesser von 2 und 0,3 cm gewickelt, wobei die Krümmungsstellen auf Einreißen und Abblättern des Anstriches untersucht wurden. Während bei Farbe Nr. 12 nach zwölf Monaten ein ganz geringfügiges Abblättern bei d = 0,3 cm eintrat, zeigte sich der Anstrich Nr. 1 dauernd vollkommen rissefrei; keine der Proben zeigte auch nur den Beginn eines Abblätterns.

Um die Einwirkung der Witterungseinflüsse auf die Farbhaut zu bestimmen, wurden Bleche, 8 × 40, cm beiderseitig zweimal gestrichen, gruppenweise aber in festen Abständen von je 5 cm auf 2 Glasrohre aufgezogen und auf dem Dache des Prüfungsamtes frei aufgehängt. Nach Ablauf von 3, 6, 12 und 24 Monaten wurden die Proben beobachtet und beurteilt. Es ergab sich, daß Farbe 12 nach einem Vierteljahre sehr wenig nachgedunkelt war, erst nach 12 Monaten sich einige Regenflecke gebildet hatten, nach 2 Jahren eine weitere geringe Nachdunkelung eingetreten war, sonst aber keine irgend nennenswerten Veränderungen sich zeigten. Das gleiche gilt von Farbe 1. Nirgends wurden im besonderen — auch nach 24 Monaten — Spuren einer Rostbildung wahrgenommen.

Zur Prüfung durch Erhitzen auf dem Wärmebade wurden Bleche von 20 . 20 cm Abmessung an ihren vier Rändern hochgebogen und die somit gebildeten Blechkästen auf ihrer Innenseite mit 2 Anstrichen versehen; von ihnen wurden je 2 gleichartige Proben im Alter von 14 Tagen, 3 und 6 Monaten nach dem Anstriche auf Wärmebädern von Wasser, Öl und Salpeter so hoch erhitzt, bis die unverletzte Farbschicht auf dem Boden des Kastens sich aufblähte oder sonstige Anzeichen der Zerstörung zeigte. Bis zu Temperaturen von 100° C wurde Wasser, bis 300° C Öl, bis 455° C Salpeter benutzt. Es zeigte sich, daß bei Farbe 12 in der angegebenen Zeitfolge erst bei 315—380° C ein Abblättern bzw. bei 335—347° C bzw. bei 325—330° C beginnt, während für den Anstrich 1 die entsprechenden Zahlen 420° C, bzw. 383° C, bzw. 328—330° C sind, hier auch das Abblättern zunächst nur an einigen stecknadelkopfgroßen Stellen anfängt. Es haben sich also beide Anstriche (12 u. 1) in sehr hohem Grade als wärmebeständig erwiesen. Zum Zwecke der Erforschung des Verhaltens der Farben gegenüber der Sonnenbestrahlung endlich wurden gestrichene Platten sowohl im Freien aufgehängt, als auch im Zimmer dem Sonnenlichte ausgesetzt. Im ersteren Falle wurden 30 . 30 cm große Bleche bei trockenem, klarem Wetter zweimal zweiseitig im Freien gestrichen und

wenig günstig wegen des schweren Trocknens und leichten Reißens), Graphit- und Ruß-Schwarz usw.

Von chemischen Farben haben für Anstriche eine größere oder geringere Bedeutung: Blei- und Zinkweiß, Chrom- und Kadmiumgelb (von letzterem auch Orange), rotes Eisenoxyd (Indischrot, Caput mortuum, Kolkothar, Pompejanisch-Rot u. a. m.), Zinnober (sehr giftig), Chromrot, Carmin-Krapp (jetzt fast nur noch künstlich hergestellt), Berliner oder Preußisches Blau (Eisencyanid), Kobalt- + Aluminiumoxyd (Kobaltblau), künstliches Ultramarin und Indigo, grüner Zinnober (Mischfarbe aus Blau und Gelb), grüne Kobalt- und Zinkverbindungen, Bein- (Braun u.) -Schwarz aus Knochenkohle, Korkschwarz, Lampenschwarz, Frankfurterschwarz (aus feinem Ruß) usf.

Als Bindemittel dieser — in besonderen Fällen auch noch mancher anderen Farben und Mischungen aus ihnen — kommen in Frage: 1. Leim, 2. Öle, 3. Lacke, 4. Wachs, 5. Kalk und Kasein, 6. Silikate, namentlich Wasserglas.

1. Leimfarben-Anstriche. Die Anstriche, die nur auf trockenen und dauernd vor Feuchtigkeit geschützten Wänden aufgetragen werden können, bestehen im allgemeinen aus mit Wasser angerührter Schlämmkreide und Farbzumischungen. Der Leim ist, je nach seiner Herkunft, ein Knochen-, Leder- oder Pflanzenleim vielfach auch eine Mischung verschiedener Leimsorten mit besonderen chemischen Zusätzen.

Ein gleichmäßiges Trocknen der Farbe wird durch einen einmaligen Grundanstrich mit einer Seifen- oder Alaun-Lösung gesichert, auch ist ein Abschlämmen der Putzfläche mit Kalkmilch gut, wenn auch nicht unbedingt erforderlich[1]).

auf Holzgestellen so aufgehängt, daß alle Bleche — die eine Seite nach Süden gerichtet — frei von der Sonne bestrahlt wurden, während im zweiten Fall von den zur Bestimmung der Trockenzeit benutzten Tafeln je 3 Stück im Zimmer so aufbewahrt wurden, daß sie der Wirkung des Sonnenlichtes möglichst ausgesetzt waren; auch wurden je zwei Tafeln im Dunkeln gelagert, um etwaige Veränderungen hierdurch zu bestimmen. Auch hier bezog sich die Beobachtung der Anstriche auf die Zeiträume von 6, 12 und 24 Monaten. Während bei Farbe 12 auch nach 2 Jahren nur eine geringe Nachdunkelung eingetreten war, Ansätze von Staub aber leicht und ohne irgendwelche Beeinträchtigung der Farbe in dieser Zeit durch Abwaschen zu beseitigen waren, auch keinerlei Rostspuren sich zeigten, wies die Grundierungsfarbe 1 ein geringes Verbleichen an der Sonnenseite und nach 24 Monaten wenige kleine Rostflecken auf. Bei der Prüfung im Zimmer, und zwar sowohl im Sonnenlichte als auch im Dunkeln ließen sich — selbst nach 2 Jahren — keinerlei Veränderungen irgend erheblicher Art bei beiden Anstrichen erkennen.

Neben den vorgenannten Eisenanstrichfarben stellen die Heidenauer Farbwerke noch ein besonderes „Eisenüberzugsöl" her, welches für Anstriche solcher Eisenteile verwendet werden soll, die in trockenen Räumen lagern, dabei aber einen möglichst farblosen Anstrich benötigen, um vor dem Ansetzen von Rost geschützt zu sein; auch auf dieses Öl haben sich die Untersuchungen des Lichterfelder Materialprüfungsamtes erstreckt.

Sie erwiesen, daß dieses Schutzmittel allen zu stellenden Anforderungen durchaus entspricht. Im besonderen wurde ein Materialverbrauch für 2 Anstriche von zusammen nur 25 g/qm festgestellt, die Trockenzeit zu 15 Stunden bestimmt und die Elastizität als bedeutend gefunden; bei der vorerwähnten Biegeprobe über Dorne bis zu 0,3 cm ⌀ blieben alle Proben rissefrei; auch trat nirgends ein Abblättern des Anstriches auf. Die Hitzebeständigkeit konnte bis zu 400° C nachgewiesen werden; bei 190° C wurden die blanken Stahlbleche, auf die das Öl aufgestrichen war, messingfarbig; bei 220° C wurde der Anstrich weich, bei 260° C aber allmählich wieder fest; noch höhere Temperaturen bedingten eine dunklere Verfärbung, und erst bei 400° C fing das Abblättern an. Auch hat im Zimmer unter Sonnenbestrahlung, wie im Dunkeln, selbst nach 24 Monaten das Eisenüberzugsöl sich bestens gehalten und nur ein sehr geringes Nachdunkeln gezeigt. Rostflecken wurden nicht gefunden.

[1]) Die Güte des zu verwendenden Leimes wird dadurch geprüft, daß man die Leimtafel, die gleichmäßig gefärbt, hell und durchscheinend sein soll, zur Hälfte in kaltes Wasser hängt. Hierbei soll das eingetauchte Stück gallertartig auf die 2—3fache Dicke aufquellen, sich aber nicht auflösen.

Hierher gehören auch Anstriche für rauhes, ungehobeltes, der Witterung ausgesetztes Holz. Zu nennen sind: a) Der sogen. Schwedische Anstrich, besteht aus Schlämmkreide, Roggenmehlkleister, Häringslake und etwas Ocker; b) der Finnische Anstrich, aus Kleister (wie bei a), Kolophonium, Tran, Zinkvitriol und beliebiger Erdfarbe.

2. Ölfarben-Anstriche. Als Öl finden nur pflanzliche, schnell trocknende Öle, vorwiegend Leinöl, Verwendung, da dieses die Fähigkeit besitzt, durch Oxydation unter Einwirkung der atmosphärischen Luft schnell zu trocknen und ausreichend zu erhärten.

Wird Leinöl lange gekocht, so vergrößert sich seine Fähigkeit, schnell zu oxydieren und gut zu erhärten — Sikkativ[1]); werden ihm hierbei geringe Mengen von Bleiglätte, Mennige oder Braunstein zugesetzt, so entsteht der durch besonders gute Verharzung ausgezeichnete Leinölfirnis.

Neben Leinöl wird auch Terpentinöl (aus dem Kiefernholz gewonnen), namentlich als Zusatz zum Verdünnen der Ölfarben (auch zu Lacken und Firnissen) verwendet, und zwar nach erfolgter Destillation und Reinigung durch Dampf unter Zusatz von Ätzkalk; auch dieses so vorbereitete Öl erhärtet gut an der Luft durch Oxydation.

Für den Anstrich von Putzflächen findet i. d. R. eine Ölfarbe Verwendung, welche aus Leinölfirnis und Farbstoff besteht. Letzterer ist meist aus 65 v. H. Bleiweiß, das den eigentlichen Farbkörper bildet und mit dem Firnis eine gute feste Verbindung eingeht, und 35 v. H. Farbe gebildet; nur bei dunklen Farben wird Bleiweiß durch feingemahlenen Graphit ersetzt.

Gewöhnliche, in Kalk geputzte Flächen werden nicht geschlämmt, sondern ein- bis zweimal vor Anbringung des Anstriches mit Leinölfirnis getränkt und hierauf mit einem zwei- bis dreimaligen Ölfarbanstriche versehen; zum ersten von ihnen kann, um der Farbe mehr Körper zu geben, etwas Schlämmkreide zugefügt werden.

Auf frischem Zementputz hält ohne besondere Vorkehrungen kein Ölfarbenanstrich; man muß deshalb die Zementputzfläche sich selbst während einer Zeitdauer von zweckmäßig zwei Jahren überlassen, damit der im Zement enthaltene, die Farbe zerstörende Ätzkalk vollkommen in kohlensauren Kalk übergeführt wird, oder die Putzfläche durch besondere geeignete Anstriche behandeln. Als solche wirken günstig die verschiedenartigen Steinhärtungsmittel, namentlich das schon früher (S. 90) erwähnte Mittel Testatin[2]), sowie die Keßlerschen Fluate (S. 90)[3]) und die schon auf S. 659 genannten Grundanstriche mit Bontri, Lapidurit, Preolit u. a. m., denen sich noch Aphrodin[4]) anschließt.

[1]) Wenn auch das Erhitzen des Leinöles von Vorteil ist, so unterbleibt es doch meist wegen der höheren Kosten, namentlich bei den Grundanstrichen, da heißes Öl in größerer Menge in die Poren des Putzes eindringt.

[2]) Das von der Firma Hartmann und Hauers in Hannover hergestellte Schutzmittel verhindert zugleich das Auftreten der störenden Trockenrisse im Zementputz und gestattet, da es die zersetzende Wirkung des Kalkes im Zement aufhebt, einen sehr baldigen Ölfarbenanstrich.

[3]) Hier kommt namentlich das sog. „Baufluat" in Frage. Nach genügender Trocknung des Zementputzes tränkt man ihn mit einer Baufluatlösung in gleichem Teil Wasser und wiederholt nach 20—24 Stunden den Anstrich mit unverdünntem Fluat; i. d. R. reichen 2—3 Anstriche aus, um die beabsichtigte Wirkung zu erzielen, d. h. die getrocknete Zementfläche zunächst sauer reagieren zu lassen. Hat man sich hiervon z. B. durch eine Lackmuspapierreaktion überzeugt, ist also die schädliche Kalkwirkung beseitigt, so wird die Oberfläche mit klarem Wasser solange gewaschen, bis das abfließende Wasser keinen Fluatgeschmack mehr besitzt. Man läßt hierauf die Fläche abtrocknen und kann nunmehr sofort mit dem Ölfarbenanstriche beginnen.

[4]) Das von der Schrammschen Lack- und Farbenfabriken zu Offenbach am Main hergestellte Schutzmittel (D.R.P. 94950) macht die Zementalkalien wirkungslos und erhöht die Festigkeit der Putzschicht.

Vor Anbringung der Ölfarbenanstriche auf Holz ist nach Verkittung aller Fugen und Bestreichen der Harz- und Aststellen mittelst einer Schellacklösung eine — wenn möglich heiße — Tränkung mit Leinöl vorzunehmen. Um den Ölfarbenanstrich glänzender und haltbarer zu machen, erfolgt ein letzter Überstrich mit Lack, und zwar mit Kopallack auf farbigem, Damarlack auf weißem Ölanstrich.

3. Lackfarben-Anstriche. Diese meist stark glänzenden, emailleartigen Anstriche zeigen als Bindemittel die Lösung von i. d. R. Naturharzen, wie Bernstein-, Kopal-, Damar-, Schellack, auch Asphalt in Terpentinöl, mit und ohne Leinölzusatz oder in Spiritus. Die Lackfarben liefern harte, feste Anstriche, die der Feuchtigkeit und einer nicht allzu großen Erwärmung bestens widerstehen. Hierher gehören die schon auf S. 553 erwähnten abwaschbaren Emaille-Farben[1]), sowie Sondererzeugnisse wie Thermon[2]), die Öl-Lack-Dauerfarben von Dr. Münch-Berlin[3]), Crudol[4]) u. a. m.

Eine besondere Art der Lackfarben stellen die Lasurfarben dar, die vielfach

---

[1]) Hier kommen z. B. die Porzellan-Emaillefarben von Rosenzweig & Baumann in Cassel in Frage, die als säurefest in Maschinen- u. Akkumulatorenräumen usw. angewendet werden können, auch wegen ihrer hervorragenden Desinfektionskraft sich für alle öffentlichen Baulichkeiten gut eignen.

In welcher Weise einerseits die zu streichende Fläche beschaffen sein muß, und auf ihr dann der Farbanstrich ausgeführt wird, und wie andererseits der Nachweis einer desinfizierenden Wirkung eines Farbanstriches erbracht wird, möge aus den beiden folgenden Mitteilungen a und b entnommen werden:

a) Die Emaillefarbe kann auf neues, rohes, ungetünchtes Mauerwerk gestrichen werden, wenn die verbindenden Fugen gut ausgetrocknet sind, auf Zementputz nur dann, nachdem derselbe ein Jahr lang gestanden hat. Sollten es die Umstände erfordern, daß frische Zementwände noch vor Jahresfrist gestrichen werden müssen, dann empfiehlt es sich, die Flächen vorher mit verdünnter Schwefelsäure (10 Teile Wasser, 1 Teil Schwefelsäure) abzuwaschen. Auch auf Kalkanstrich kann die Farbe angewendet werden, jedoch ist es nötig, etwa lose sitzende Teile vorher durch Abreiben mit einem groben, trocknen Tuche zu entfernen, damit nicht etwa mit den sich loslösenden Kalkstückchen die Farbe abbröckelt. Auf alten Ölfarbenanstrich läßt sich die Emaillierung unmittelber aufbringen und ist es auch hier nur notwendig, denselben zuvor mit einem Tuche abzureiben. Der beste Untergrund für die Farbe ist der gut abgeschliffene, vollständig trockene Kalkmörtel-, oder Gipsputz sowie die ausgefugte Backsteinmauer.

Die vorher mit einem bis zum Boden des Gefässes reichenden Stocke gut aufgerührte Farbe wird mittelst eines Borstenpinsels gleichmäßig aufgetragen und zwar ist möglichst wenig Farbe in den Pinsel zu nehmen und dieser jedesmal recht gut auszustreichen.

Sodann läßt man diesen Anstrich drei Tage stehen, wiederholt denselben und streicht nach weiteren drei Tagen zum dritten Male.

Man bedarf also zur Herstellung einer haltbaren Emaillierung neun Tage; hierbei sind für 10 qm zum dreimaligen Anstriche rd. 3,5 kg nötig.

Ein Grundieren der Wände mit einer Mischung von bestem Leinölfirnis mit Zinkweißölfarbe zu gleichen Teilen ist bei porösen Flächen ratsam, weil dadurch der nachherige Verbrauch der Farbe vermindert wird.

b) Die Farben werden auf Ton- und Holzplatten und bei einigen Versuchen auf Blech- und Glas platten aufgestrichen und nach 4- bis 6tägigem Trocknen mit verschiedenen Bakterienarten infiziert. Als solche werden i. d. R. Cholera-, Diphtherie-, Typhus-, Milzbrandbazillen, Staphylokokken und Streptokokken gewählt. Ein Teil der Platten wird bei Licht, der andere im Dunkeln bei Zimmertemperatur aufbewahrt. In bestimmten Zwischenräumen, nach Stunden und Tagen, werden gleichgroße Mengen des Aufstriches abgekratzt und auf Nährböden verimpft; hierdurch wird versucht, die keimtötende Kraft der verschiedenen Farben festzustellen.

[2]) Hergestellt von Rosenzweig & Baumann, Cassel, vorwiegend für Heizkörper.

[3]) Die Farben sind mit Öllack hergestellt und werden je nach dem Verwendungszwecke geliefert. Vor dem Anstriche empfiehlt sich bei Holz eine Grundierung mit heißem Firnis, bei Putz mit einer Mischung aus 2 Firnis, 1 Terpentinöl und 1 Lack-Dauerfarbe.

[4]) Hergestellt von O. Fritze & Cie. in Offenbach a. M., eine für Heizkörper vielfach verwendete in allen Farbtönen gelieferte Farbe.

für Holzanstriche auf vorangehender Grundierung mittelst Firnis verwendet werden und bei ihrer Durchsichtigkeit die Maserung des Holzes bestens erkennen lassen.

4. Wachsfarben-Anstriche. Bei diesen, und zwar den Wachsölfarben, findet als Bindemittel eine Auflösung von Wachs in gut trocknendem Lein- und Terpentinöl Verwendung, während bei Wachsleimfarben der Bindestoff aus Wachs und gekochtem Leim oder einem Zusatz von in Terpentinöl aufgelöstem Wachs zur normalen Leimmischung besteht. Durch das Wachs erhält der sich nur für Innenräume eignende Anstrich einen matten Glanz, dessen Stärke durch den größeren oder geringeren Gehalt an Leinöl beeinflußt werden kann. Durch Abreiben der gestrichenen Flächen mit wollenen Lappen wird ein besonders matter Glanz erzielt.

Die nicht nachdunkelnden Wachsfarbanstriche werden in der Kälte spröde.

5. Kalk- und Kaseinfarben-Anstriche. Dem Aufbringen der Kalkfarbanstriche geht zunächst ein Schlämmen der Putzflächen, d. h. ein Überstreichen mit dünnflüssiger Kalkmilch voraus, und zwar zum Zwecke der Beseitigung und Ausfüllung der Unebenheiten und Poren. Um die farbenzerstörende Wirkung des Ätzkalkes zu beseitigen, folgt auf die Grundierung ein Anstrich mit Seifensiederlauge, dem etwas Alaun oder Borsäure zugesetzt wird; hierauf folgt dann der durch zwei- bis dreimaliges Überstreichen aufzubringende Deckanstrich, aus Kalkmilch und Farbzusatz bestehend. Für letztere sind nur Erd- oder Metallfarben[1]) zulässig, da andere, z. B. Anilin- oder Pflanzenfarben, von Kalk zerstört werden. Die Farben werden zunächst in weichem Wasser verrührt und dann der Kalkmilch beigemengt. Die Anstriche sind möglichst dünnflüssig aufzutragen, da ein stärkerer Überzug abblättert.

Die Kalkfarbenanstriche sind wenig dauerhaft und färben leicht ab. Eine Erhöhung ihrer Haltbarkeit, namentlich auch im Hinblicke auf ihre Wetterbeständigkeit, läßt sich erreichen durch Beimengung von Leinöl, Leinölfirnis, Milch, Blutserum[2]) u. a. m. Eine sehr gute Verbindung mit dem Putze erzielt man, wenn man den Kalkfarben-Anstrich auf die noch völlig frische Putzfläche etwa einen Tag nach ihrer Herstellung aufbringt, da alsdann die Kalkfarbe gemeinsam mit dem Putzmörtel erhärtet und fest und glänzend wird. Steht der Putz schon längere Zeit, so ist mit besonderer Sorgfalt darauf zu achten, daß alle Stellen vollkommen getrocknet sind, da beim Anstriche noch feuchte Stellen sich dauernd durch eine dunklere Farbe zu erkennen geben, d. h. stets sichtbar bleiben.

Wird 1 Teil gelöschter Kalk mit 5 Teilen Quark verrieben und diesem Gemenge Farbe zugesetzt, so entstehen die Kaseinfarben. Sie sind in Wasser unlöslich, also auch abwaschbar, sehr dauerhaft, verhindern auch — wenn auch nur für kürzere Zeit — das Entflammen von Holz u. dgl. Als Farbzusätze sind nur Metalloxyde und Erdfarben zulässig, von ersteren aber Bleiweiß, Zinnober, Berliner-Blau ausgeschlossen. Die täglich frisch zu bereitende Farbe ist mit dünnem Strich auf die vorher genügend genäßten Flächen aufzubringen. Leinöl- und Harzbeimengungen wirken auf die Frische der Farben günstig ein; zur Verdünnung der Anstriche wird fast nur Wasser verwendet.

Besondere Arten hierher gehörender Farben sind a) die Gerhardtschen

---

[1]) Nicht brauchbar sind von den Metallfarben die Bleifarben der verschiedensten Art, abgesehen von ihrer Giftigkeit, die sie sowieso an vielen Stellen nicht anwendbar macht.

[2]) Aus dem in flachen Mulden aufgesetzten Rinderblut scheidet sich nach wenigen Tagen das oben schwimmende Blutwasser ab, das mit fein gesiebtem Pulver von gebranntem Kalk vermischt wird.

Kaseinfarben und Putze[1]), namentlich die Gerhardtsche graue Zement-Kaseinfarbe[2]), der gleichnamige Wandputz für die verschiedensten Malereien usw., b) Antonys flüssiges Kasein[3]) zur Haltbarmachung der Wasserfarben bei inneren und äußeren Anstrichen und Malereien; es bindet gut und fest Erd- und chemische Farben, die sich mit dem Bindemittel gut in- und übereinander verarbeiten lassen. Da das flüssige Kasein verharzende und antiseptische Beimengungen enthält, hält es sich bestens sogar auf feuchten Wänden[4]).

6. Silikat- namentlich Wasserglas-Farbanstriche. Wasserglas stellt ein kieselsaures Alkali dar; nach der Art der Base unterscheidet man: Natron- und Kali-Wasserglas; das erstgenannte ist das billigere, jedoch ist das Kali-Wasserglas vorzuziehen, weil bei ihm die Neigung zur Bildung von Ausblühungen erheblich geringer ist als bei der Natronverbindung. In festem Zustande hat Wasserglas das Aussehen eines durchscheinenden, an der Luft wenig veränderlichen Glases, löst sich in siedendem, destilliertem

---

[1]) Hergestellt von der Firma Anton Richard in Düsseldorf, auf deren ausführliche Drucksachen besonders verwiesen sei.

[2]) Gerhardts graue Zementkaseinfarbe wird in Teigform, mit Wasser verdünnbar, geliefert. Sie eignet sich zu feinen Wandanstrichen, sowohl innen wie außen, auf Unterlagen aller Art vorzüglich auf nassen wie auch auf trockenem Zement- und Kalkmörtelputz, auf Stein, Ziegel usw. Es ist damit ein Material gefunden, welches der vielseitigen Verwendung zu Anstrichen von Fassaden (zweckmäßig gleich mit dem Verputz zu streichen) Sockeln, feuchten Gängen, Kellern, und anderen Wand- und Deckenflächen entspricht. Frischer Zementputz, welcher damit gestrichen wird, zeigt nicht die sonst schnell sich einstellenden Haarrisse. Für nachfolgende Anstriche mit Öl- und anderen Farben wird damit eine vorzügliche Unterlage geschaffen.

Allein angewandt, zeigt Gerhardts graue Zement-Kaseinfarbe einen feinen hellgrauen, warmen Natur-Steinton. Durch Zusatz von Zinkweiß kann sie noch deckender und heller gestaltet und durch Beimischung beliebiger Farben beliebig abgetönt werden. Diese Zusätze dürfen ohne weiteres im ganzen bis zu 50% der Menge der Farbe betragen.

Der Anstrich erlangt in 8—14 Tagen seine größte Festigkeit. Die Farbe streicht sich leicht mittelst gewöhnlicher Borstenpinsel. Verdünnung geschieht mit Wasser.

Verbrauch für Anstriche auf gewöhnlichen Kalkmörtel- und Zementputz, unter der Voraussetzung, daß etwa bis zu 50% Farbzusätze gemacht werden, ca. 240—280 g für 1 qm für den ersten Strich und etwa 1/2—2/3 hiervon für einen etwa erforderlichen zweiten Strich. Auf glattem Zementputz dürfte man mit rd. 20% weniger auskommen.

[3]) Hergestellt von W. Antony in Trier.

[4]) Gebrauchsanweisung: Mit Kalk gestrichene Wände usw. sind von allen losen Teilen zu befreien, auszubessern und zu seifen. Etwaige Leimfarbenanstriche sind mit Wasser und Schwamm abzuwaschen und weiter wie oben zu bearbeiten. Gipsputz wird mit dünner, aber genügend bindender Kaseinfarbe vorgestrichen, desgleichen neuer Kalk- oder Zementputz. Kreide und andere Farben sind in wenig Wasser einzuweichen und in dickbreiigem Zustande zum gewünschten Ton miteinander zu vermischen; sodann ist das Kaseinbindemittel beizuschütten und innig mit den vorgenannten Stoffen zu verrühren. Um sich zu überzeugen, daß die Farben nach dem Trocknen nicht abfärben, ist, es erforderlich, vorher auf Papier eine Strichprobe zu machen. Die Menge des zum Binden der Farben erforderlichen Kasein ist durch die Verschiedenheit der Farben, deren Bestandteile und Eigenschaften im allgemeinen bedingt. Leichte Farben verlangen im Durchschnitt weniger Bindemittel als schwere, jedoch ist dies nicht bei allen Farben der Fall, z. B. Ultramaringrün und -blau, Kasselerbraun und van Dyck-Braun sind in guter Qualität keine schweren Farben, erfordern aber dennoch verhältnismäßig viel Kasein. Ein kg Kasein reicht aus, um 2—4 kg trockener Farbe zu binden; diese Mischung genügt je nach Beschaffenheit der Fläche, um 10 bis 25 qm damit zu streichen. Die Farben sind, wenn nötig, mit Wasser zu verdünnen, aber stets dickflüssig zu halten. Ein Zusatz von etwas Salmiakgeist oder gut gelöschtem und durchgesiebtem Kalk bis höchstens ein Sechstel der Farbe verhindert meist etwaiges Gerinnen der Farbe und macht dieselbe streichbarer. Ein Zusatz von Zinkweiß verhindert das Laufen der Farben. Ein bis zwei Anstriche mit Kaseinfarbe, mit Deckenbürste oder gutem Handpinsel ausgeführt, genügen in den meisten Fällen. Das Mischen der Malfarben geschieht wie das der Anstreichfarben. Ist das Kasein steif geworden, so kann es durch Erwärmen in der Flasche verflüssigt oder auch mit warmem Wasser verdünnt werden.

Wasser zu einer dickflüssigen Masse, welche, da sie durch die Kohlensäure der Luft zersetzt wird, in gut verschlossenen Gefäßen aufzubewahren ist. Da Anstriche von Wasserglas auf allen Stoffen, mit denen es sich nicht chemisch verbindet, einen firnisartigen, ziemlich wetterbeständigen, jedoch bei dauernder Nässe weich werdenden, nicht leicht abblätternden Überzug bildet, so eignet es sich gut als Bindemittel für Anstriche, deren Örtlichkeit im Gebäudeinnern seinen besonderen Eigenschaften Rechnung trägt, um so mehr, als die Gefahr des Abspringens und Abblätterns durch Zusatz von Farbstoffen — von Erdfarben bzw. von Metalloxyden — beseitigt wird.

Wasserglasanstriche eignen sich besonders für Putz-, namentlich Zementputzflächen, die allerdings vollkommen abgebunden und erhärtet sein müssen; sie werden alsdann zunächst mit einer 33%igen Wasserglaslösung, die mit dem dreifachen Gewichte von weichem Wasser angemengt wird, nicht selten auch mit einem Zusatze von 10 v. H. Schlämmkreide grundiert. Die Deckanstriche bestehen aus Wasserglas mit Wasserzusatz in seinem doppelten Gewichte und Farbe.

In ähnlicher Weise wird auch ein Anstrich auf Holz ausgeführt, durch den zudem dieses auf seiner Oberfläche wirksamst gegen Feuer, Fäulnis, Schwamm usw. gesichert wird; auch können aufgeklebte Tapeten durch Wasserglasanstriche dunkler, glänzend und abwaschbar gemacht werden; ferner lassen sich Wasserglasfarben (z. B. bei Verwendung von Barytweiß) dauerhaft auf Glas auftragen.

Auf den Auftrag in dünner Schicht und einen richtigen Gehalt der Lösung ist hier besonders zu achten, da bei zu dicker Einzelschicht bzw. beim Übereinanderstreichen mehrerer dünner Anstriche ein Abblättern des Überzuges zu befürchten steht.

Als Sonderfarben, die hierher gerechnet werden können, seien erwähnt:

a) Porosil-Farbe[1]). Dies ist eine durchaus haltbare und wetterfeste, durch einen matten, steinartigen Ton von hoher Leuchtkraft ausgezeichnete, aus mineralischen Stoffen hergestellte, giftfreie Farbe, die mit jedem Untergrunde eine innige Vereinigung eingeht, schnell erhärtet und verkieselt, dabei aber vollkommen porös verbleibt; sie ist zudem unempfindlich gegen Dampf, Säuredämpfe usw., gestattet ein Abwaschen, kann durch den Zusatz leichter Karbol usw. -Lösungen leicht desinfizierend gemacht werden, färbt und blättert nicht ab, und gestattet jegliche Verwendung außen und innen, jedoch mit der Ausnahme, daß Porosilfarbe nicht auf bereits mit Öl- oder Emaillefarben gestrichenen Flächen aufgebracht werden darf.

b) Amphibolin[2]). Dieses Verputzanstrichpulver ist als Anstrich für Zement- und Kalkverputz gut bewährt und hat sich als ein für Außen- und Innenwände wetterfester, geruch- und giftfreier, auch abwaschbarer Farbüberzug erwiesen, der auch eine desinfizierende Wirkung besitzt. Das Verputzpulver darf nur mit Erdfarben bis zu 10 v. H. seines Gewichtes abgetönt werden; chemische Farben — Ultramarin ausgenommen — dürfen dem Verputzpulver nicht beigemengt werden. Ebenso leidet die Güte und Dauerhaftigkeit des Anstriches durch Zusätze von Kreide, Kalk, Leim u. dgl. Das Pulver wird durch einen allmählichen Zusatz von 100 Gewichtsteilen kalten Wassers auf 100 Gewichtsteile Pulver streichfertig gemacht und auf trockenen festen Untergrund aufgetragen; ein einmaliger Anstrich reicht zur Deckung aus und erfordert für je 10 qm Fläche rd. 1 kg Pulver.

---

[1]) Die von Kauschmann & Cie. in Cassel hergestellte Farbe kann sowohl für Außen- wie Innenarbeiten, auch auf Zementflächen usw. Verwendung finden; sie bietet einen anerkannt vorteilhaften Ersatz für Öl-, Leim- und Kalkfarben.

[2]) Hergestellt von den Deutschen Amphibolin-Werken von R. Murjahn in Ober-Ramstadt bei Darmstadt.

c) Die Keimschen Mineralanstrichfarben[1]). Die Farbe besteht aus einem trockenen Farbpulver und dem Fixativ; beide Stoffe werden erst kurz vor der Verarbeitung miteinander vermischt, und zwar im Gewichtsverhältnisse von 1 : 2. Zum Vorstreichen empfiehlt sich eine Milchkalklösung, die mager aufgestrichen wird, damit sie weniger einen Überzug als eine Ausfüllung der Poren bildet; es empfiehlt sich, dieses Vorstreichmittel in jedem Falle anzuwenden, da man dem Putz die ungleiche Aufsaugefähigkeit nicht immer ansehen kann. Die stets porös bleibende Keimsche Farbe kann auf Kalk-, Gips- und Zementputzflächen aufgetragen werden, erfordert aber bei stark absaugenden Wänden u. dgl. (bei Backsteinen, Terrakotten u. dgl.) ein starkes Vortränken mit Fixativlösung (1 : 3 in Wasser); auch für Holzstreicharbeiten — namentlich im Gebäudeinnern — ist die Farbe gut verwendbar, ausgenommen auf früheren Ölanstrichen u. dgl. Für 100 qm Fläche braucht man rd. 20 kg Farbe und 40 kg Fixativ zu einem zweimaligen, vollkommen ausreichenden Anstriche. Neben den vorstehend bei a) und b) angeführten Eigenschaften haben die Keimschen Anstrichfarben noch den weiteren Vorzug, daß vermöge ihrer Durchsichtigkeit alle mit ihr gestrichenen Ornamente, Konturen usw. ihre volle Schärfe bewahren. Die Farbstellung ist eine sehr verschiedene: weiß, hell und dunkelgelb, rot, braun, dunkelocker, blau, grün und schwarz.

Eine besondere Art dieser Anstriche ist der „Keim-Putz“, eine sehr widerstandsfähige Malgrundmasse zur Ausführung von Wandmalereien und „Keimtechnik“. Auch eignet sich diese sandartige, nur mit Wasser anzumachende Masse von nach Erhärtung weißlicher Farbe und steinartiger Beschaffenheit zu einfachen und schwierigen Putzarbeiten, zu Kratzputz, zum Guß in Formen wie zum Herausarbeiten plastischer Massen, ornamentalen Schmuckes usw. Der Auftraggrund kann jeder beliebige andere wetterbeständige Putz, ein Naturstein, eine Backsteinfläche u. dgl. sein; nur muß der Grund genügend rauh sein und kurz vor Beginn der Arbeit ausreichend genetzt werden.

d) Hercula-Anstrichfarbe[2]). Die für Außen- und Innenarbeiten benutzte Anstrichfarbe wird in matten, aber sehr klaren und schönen, vorwiegend hellen Farbtönen geliefert; sie eignet sich für jede Streicharbeit auf Putz- und Steinflächen, die jedoch auch hier frei von jeglichem Öl- oder Leimanstrich sein müssen. Die nur mit Wasser anzumachende Farbe ist i. d. R. in zweifachem Anstriche aufzutragen. Die mit Herculafarbe gestrichenen Wände können mit jeder Farbe zu dekorativen Zwecken unmittelbar bemalt werden, selbst bei Ölfarben ist kein vorausgehendes Ölen notwendig.

e) Hyperolin-Farbe[3]). Das den vorgenannten durchaus ähnliche und mit gleichen Eigenschaften ausgestattete Farbpulver ist nur mit kaltem Wasser zunächst zu

[1]) Die Farben werden hergestellt von der Steingewerkschaft Offenstetten A.-G. in München.

Die Farbe wird strichfertig gemischt, indem man sie langsam in das Fixativ einlaufen läßt, die Flüssigkeit gut umrührt und mittelst des Pinsels durch ein Sieb treibt, um eine Knollenbildung zu verhindern.

Es ist nie mehr Farbe anzumachen, als an einem Tage gebraucht wird. Nach Gewichtsteilen ausgedrückt kommen auf 1 kg Farbe 2 kg Fixativ. Verwendet man daher Originalpackungen, so sind Farbpakete von 2, 4 oder 8 kg mit Fixativkannen von 4, 8 oder 16 kg zu mischen.

Die Farbe muß bei jedem Anstriche satt aufgetragen und dann gut mager verstrichen werden, sie muß unter dem Pinsel beim Streichen vollkommen glänzend erscheinen. Während der Arbeit ist die Farbe gut aufzurühren; am besten streicht man sie mit einer etwas abgearbeiteten Bürste. Der erste Anstrich muß völlig trocken sein (je nach der Witterung in ca. 12 Stunden), ehe der zweite folgt. Ein zweimaliger Anstrich genügt vollkommen.

Das Fixativ ist gut verschlossen aufzubewahren und vor der Verwendung tüchtig aufzuschütteln.

[2]) Hergestellt von Kochen und Beeck in Krefeld.

[3]) Hergestellt von Michael und Dr. Oehmichen in Ober-Ramstadt bei Darmstadt.

einem dicken Brei, erst nach etwa ½ Stunde durch Zufügung weiteren Wassers zu streichfertiger Farbe anzumachen; hierbei ist auf 1 kg Farbe 1 l Wasser zu rechnen; diese Menge reicht für 8—10 qm aus. Ein zweifacher Anstrich genügt durchaus. Erd- und Metalloxydfarben (bis 10 v. H.) mischt man der weißen Hyperolin-Farbe zu.

f) Endlich ist — den vorgeführten Anstrichen durchaus entsprechend — zu nennen: Indurin[1]), auf jedem rauhen festen Untergrunde, auch auf Backsteinfassaden, auf Eisen und anderen Metallen, auf Holz, Glas usw. bestens haftend und vielseitig bewährt.

§ 107. Tapeten.

Die zur Verkleidung der Wandflächen in Innenräumen benutzten Tapeten erfordern eine glatte Bearbeitung und eine Beseitigung der ätzenden Einwirkung des Kalkes der geputzten Wandflächen, d. h. ein Abreiben des Putzes mit Filzreibebrettern, sowie ein Überstreichen der Flächen mit Leim- oder Seifenwasser, denen Alaun oder Borsäure zugesetzt sind; letztere verhindern ein Faulen des Roggenmehlkleisters, mit dem die Tapeten angeklebt zu werden pflegen. Da trotz großer Vorsicht beim Aufkleben der Tapeten unmittelbar auf den Putz sich leicht Sandkörnchen aus diesem durch die Tapeten durchdrücken und deren Aussehen ungünstig beeinflussen, auch zum vermehrten Ansetzen von Staub und Schmutz Veranlassung geben, ist es zweckmäßig, bei besseren Tapeten auf den Putz zunächst eine Lage Zeitungspapier aufzukleben und hierauf erst die Tapeten anzubringen.

Sollen Holzflächen tapeziert werden, so ist es im Hinblick auf die unvermeidlichen Bewegungen des Holzes, namentlich bei Einwirkung der Feuchtigkeit des Kleisters, notwendig, das Holzwerk zunächst mit einem billigen Jutestoffe oder einem der auf S. 736 erwähnten gleichartigen Gewebe zu bespannen und erst auf ihm die Tapeten aufzukleben.

Je nach dem Stoffe, aus dem die Tapete hergestellt wird, werden unterschieden:

1. Papiertapeten. Diese meist verwendete Art wird i. d. R. in 8,00 m langen Rollen von 0,47 m Breite, selten, und nur bei guten Arten und großem Muster 0,70 m breit geliefert. Je nach der besseren oder weniger guten Ausnutzung der Tapetenfläche kann man die Ausgiebigkeit einer Normalrolle zu 3 bis 3,5 qm Wandfläche veranschlagen. Für gewöhnliche Tapeten werden meist billige, durchgefärbte Maschinenpapiere (Naturellpapiere) verwendet, für bessere Arten starke weiße oder sog. Ingrainpapiere, die aus 2 Lagen zusammengefügt sind und eine aufgerauhte Oberfläche zeigen. Einfarbige Tapeten werden durch Grundiermaschinen vermittelst sich drehender Farbwalzen (oder Farbbürsten) mit Leim und Ölfarbe gleichmäßig gefärbt, während gemusterte Arten, seltener durch Handdruck, i. d. R. durch Maschinendruck und alsdann in der Art erzeugt werden, daß die verschiedenen Farben, jede durch eine Walze, zu gleicher Zeit gedruckt werden.

Soll die einfarbige Tapete eine glänzende Oberfläche erhalten (Glanztapete), so wird der Grundierungsfarbe Barytweiß zugesetzt; auch können Tapeten, namentlich solche, welche Kachel- und Fliesen- oder Holz-Verkleidung nachahmen, gefirnißt oder

[1]) Vgl. S. 554. Die Farbvertretung hat die Firma R. Avenarius & Cie., Stuttgart, Hamburg Berlin, Köln.

lackiert werden; wird hierzu eine Verdünnung von Opalfirnis durch Terpentinöl benutzt, so gestatten die Tapeten nachträglich ein Abwaschen.

Sollen die Tapeten Reliefmusterung (gepreßte oder gaufrierte Tapeten) erhalten, so gehen sie durch zwei entsprechende, übereinanderliegende Walzen hindurch, von denen die eine die erhaben, die andere die vertieft eingravierten Ornamente usw. zeigt.

Eine Abart der Papiertapeten sind die Woll- oder Sammet-Velours-Tapeten, bei denen auf den vorher ganz, oder seltener zum Teil, durch Druck gefirnißten Untergrund (ganze und halbe Velourstapeten) Wollstaub aufgestäubt wird. Soll die gleichmäßig bestäubte Wolltapete gemustert werden, so werden hierzu Zink- u. dgl. Schablonen verwendet, die man auf die noch nicht vollkommen trockene Tapete legt, während die von ihnen freigelassenen Räume (Muster) durch Überbürsten aufgerauht werden; auch kann man die fertigen Wolltapeten mit in Firnis gelösten Farbstoffen, auch Bronzen (Gold und Silber) oder nur mit Firnis bedrucken und Metall- oder Wollstaub von neuem aufstäuben.

Werden an Stelle von Wollstaub zerkleinerte Seidenfasern verwendet, so entstehen die sonst gleichartigen besseren Seiden-Velours-Tapeten.

2. Gewirkte Tapeten. Hier sind die schon seit Jahrhunderten eingeführten, gewebten Gobelintapeten[1]), die türkischen, persischen, China-Tapeten, die hochwertvollen gewebten, auch gestickten und gemalten Seidentapeten u. a. m. zu nennen.

3. Ledertapeten. Echte Ledertapeten (Cordova-Tapeten) sind i. d. R. aus Kalbsleder erzeugt und stets mit Hilfe vertiefter Preßformen oder durch Reliefwalzen mit erhabener Ornamentierung versehen, oft zudem zum Teil vergoldet oder versilbert; sie sind meist auf Leinwand aufgespannt und stets in hölzerner Umrahmung an der Wand befestigt. Nachahmungen werden mit Hilfe starken Hanfpapieres erheblich besser durch die Lincrusta-Tapeten bewirkt.

4. Lincrusta-Tapeten stellen ein künstlerisch wertvolles, außerordentlich vielgestaltiges Tapetenmaterial dar, das auf ähnliche Art wie Linoleum[2]) nur unter Verwendung von Holzstoff, also auch unter Benutzung von oxydiertem Leinöl als Bindemittel, auf einer Leinwand- oder Papierunterlage durch Walzung, Prägung (vermittelst Walze), Färben und Bedrucken hergestellt wird.

Lincrusta — ein hervorragender Sockel-, Wand-, Gesims- und Deckenschmuck — ist außerordentlich beständig, leicht durch Abwaschen zu reinigen und zu desinfizieren; es stellt mithin neben seiner warmen Tönung und seiner jedem Stil anzupassenden Gestaltung, ein hochwertvolles neuzeitliches Tapetenmaterial dar.

5. Als zu den Tapeten — wenn auch nicht im eigentlichen Sinne — gehörend, seien noch die „Joszschen Dekorativ-Wandbekleidungen aus biegsamem Emaille-Metall“ erwähnt[3]). Die dünnen Platten, welche mit einem eigenartigen Kitt überzogen sind, können sowohl im Freien wie im inneren Ausbau überall verwendet werden; sie haben das Aussehen von Porzellan- oder Steingutplatten, sind ihnen gegenüber aber durch die Möglichkeit des zuverlässigen Anschlusses an beliebig geformte Flächen vorteilhaft ausgezeichnet, sowie durch das geringe Gewicht von 2 kg für 1 qm

[1]) Je nachdem beim Weben die Kette senkrecht oder wagrecht läuft, unterscheidet man: Hautelisse-Gobelin- und Basselisse-Gobelintapeten.

[2]) Das Verfahren ist i. d. R. das Walton-Verfahren, vgl. S. 737; daher führt die Lincrusta auch vielfach die Doppelbenennung: Lincrusta-Walton; besonders gut eingeführt sind die deutschen Marken.

[3]) Generalvertrieb: Louis Miethe Nachf., Leipzig.

(gegenüber 20—24 kg bei Fyaence-Platten) und endlich durch die geringe Anzahl von Fugen; auch sind die Platten durchaus dauerhaft gegen jede desinfizierende Waschung und eine Reinigung mit verdünnten Säuren, Benzin, Seifenwasser usf. und haben sich an vielen Orten unter den verschiedensten Verwendungsbedingungen bewährt.

Literatur-Nachweisung

zu Kapitel XXXI und XXXII[1]).

Wegen der Abkürzungen vgl. die früheren Literatur-Nachweisungen.

Dachpappe usw.

1. R. Krüger, Baustofflehre II, S. 281—287.
2. E. Gerhardt, Baustoffkunde, S. 189.
3. Dr. H. Köhler, Die Chemie und Technik der natürlichen und künstl. Asphalte, Dachpappen usw., S. 302, 388. Fr. Vieweg-Sohn, Braunschweig. 1904.
4. Dr. E. Luhmann, Die Fabrikation der Dachpappe usw. 2. Heft. Wien-Leipzig. Hartlebens Verlag. 1912.
5. C. Schmid, Technische Studienhefte. Asphalt, Teer, Öl im Straßenbau. Heft 5. Stuttgart. Konrad Wittwer. 1905.
6. F. Lindenberg, Die Asphaltindustrie. Wien-Leipzig. Hartlebens Verlag.
7. W. Peterson-Kinberg, Moderne Teerdestillation und Dachpappenfabrik. Wien-Leipzig. Hartlebens Verlag. 1904.
8. St. Mattar, Dachpappe und Holzzement. Wiesbaden. Druck P. Plaum. 1902.
9. Die wasserdichten Baumateralien. Broschüre von Büsscher und Hoffmann, Eberswalde.
10. Die Isolierung der Bauwerke gegen Feuchtigkeit und Druckwasser. Broschüre der Firma A. Siebel, Düsseldorf-Rath.
11. Kitonverfahren zur Herstellung staubfreier Straßen. Broschüre von Dr. F. Rasching, Ludwigshafen a. Rh.
12. Drucksachen über Patentfilztafeln „Kosmos“ von A. W. Andernach. Beul a. Rh.
13. Drucksachen über Dachpix von A. v. Zehmen. Dresden.

Asbest.

14. R. Krüger, Baustofflehre II, S. 287 u. ff.
15. Asbestzementschiefer, vgl. die Drucksachen der A.-G. Alfred Calmon, Hamburg, namentlich die Broschüre Eternit-Schiefer, Patent Hatschek.
16. Das Ganze der Asbestverarbeitung. Sonderabdruck aus der Gummizeitung Dresden-A. Steinkopf und Springer. 1903.

Filzplatten.

17. R. Krüger, Baustofflehre II, S. 290.
18. Drucksachen der Filzfabrik Adlershof bei Berlin.

Holzzement.

19. R. Krüger, Baustofflehre II, S. 290.
20. E. Gerhardt, Baustoffkunde, S. 189.
21. St. Mattar, Dachpappe und Holzzement. Druck P. Plaum. Wiesbaden. 1902.
22. Verbesserte Kiesschutzleiste der Holzzementdächer. Broschüre von Büsscher und Hoffmann in Eberswalde.
23. H. Köhler, Technologie der natürlichen und künstlichen Asphalte, S. 367.

[1]) Vgl. zudem die vielfachen Literaturstellen im Texte.

Stroh, Rohr usw.

24. R. Krüger, Baustofflehre II, S. 306 u. ff.
25. E. Gerhardt, Baustoffkunde, S. 145.
26. Drucksachen der Galvanischen Metallpapierfabrik Berlin N (Gewebebauplatten).

Wasserdichte Leinwand.

27. R. Krüger, Baustofflehre II, S. 293.
28. Drucksachen der Firma Weber-Falckenberg, Berlin SW.
29. Drucksachen der Firma J. H. C. Karstadt, Hamburg.

Kautschuk und Guttapercha.

30. R. Krüger, Baustofflehre II, S. 274 und 278.
31. E. Feltone, Isoliermaterialien (Wärme-, Kälte-) Schutzmassen. Wien-Leipzig. Hartlebens Verlag. 1903.
32. A. Forstner, Die künstliche Kühlung, Isolation gegen Feuchtigkeit und für Elektrizität. Wien Leipzig. Hartlebens Verlag. 1903.

Ruberoid.

33. Vgl. die Drucksachen der Ruberoid-Gesellschaft m. b. H. Hamburg, namentlich
34. Rote Ruberoid-Bedachung. Broschüre.
35. Ruberoid-Isolierung, Broschüre, und
36. Neueste Nachrichten über Ruberoid.

Linoleum.

37. Der Idealfußboden, Broschüre z. Berl. Tuberkulosekongreß im Mai 1899. Herausgegeben von den Deutschen Linoleumwerken Hansa in Delmenhorst.
38. Drucksachen der Deutschen Linoleumwerke Hansa, Anker, Delmenhorst, Rixdorf, Maximiliansau, Bietigheim usw.
39. Vgl. u. a. Deutsche Industrie — Deutsche Kultur. Ecksteins Biograph. Verlag Berlin. Jahrg. III. Nr. 11. Die deutsche Linoleum- und Lincrusta-Fabrikation.
40. R. Krüger, Baustofflehre II, S. 293.
41. E. Gerhardt, Baustoffkunde, S. 234.

Kapitel XXXII.

Glas.

1. Zeitschrift, Baumaterialienkunde. Stuttgart (von 1896 an).
2. Zentralblatt für Glasindustrie und Keramik, Wien, erscheint seit 1892.
3. Süddeutsche Glaserzeitung, München, erscheint seit 1897.
4. Die Glasindustrie, Berlin, erscheint seit 1890.
5. Dr. G. Rauter, Die Industrie der Silikate, der künstlichen Bausteine und des Mörtels. Bd. I. Glas- und Keramische Industrie, Sammlung Goeschen, Leipzig, 1904; Glasindustrie, S. 10—81 bespricht kurz: 1. Chemische Natur der Gläser; 2. Zusammensetzung der verschiedenen Glasmassen; 3. Herstellung des Glases; 4. Glasschmelzöfen; 5 Verarbeitung der Glasmasse; 6. Weitere Behandlung des Glases.
6. Tscheuschner, Handbuch der Glasfabrikation. Verlag Voigt, Weimar. 1885.
7. Dralle, Die Glasfabrikation (Anlage und Betrieb). Verlag Baumgartner, Leipzig. 1886.
8. Hovestadt, Das Jenaer Glas u. seine Verwendung in Wissenschaft u. Technik. Verlag G. Fischer. Jena. 1900.
9. Muspratts, Encyclop., Handbuch der Technischen Chemie. Herausgegeben von F. Stohmann und B. Kerl. Verlag Vieweg und Sohn, Braunschweig. 3. Band: Glasindustrie. 1891.
10. Th. Landsberg, Die Glas- und Wellblechdeckung der eisernen Dächer. Darmstadt. 1887.
11. L. Schwering, Verglaste Dächer und Oberlichter. Handbuch der Arch. III. 2., V. 5. Aufl. S. 284 bis 349. Stuttgart. 1899.
12. Chr. Nußbaum, Verwendung von Glas zur Bekleidung der Wand- und Deckenflächen. Hannov. Gewerbeblatt 1894. Nr. 15. v. 1. VIII.
13. E. Gerhardt, Baustoffkunde, S. 211—220.

14. R. Krüger, Baustofflehre II, S. 175—200.
15. Handbuch der Architektur 1. I, S. 306—316.
16. A. Demmin, Keramische Studien. 4. Folge. Das Glas, dessen Geschichte und Werkweise. Leipzig. 1886.
17. Drucksachen der A.-G. Siemens, Dresden.
18. Drucksachen der Luxfer- und Elektroglas-Ges. Berlin.
19. Drucksachen der Sächsischen Glaswerke, vorm. Grützner und Winter, Deuben.
20. Drucksachen von Häusler und Pfütze, Dresden-N.
21. Stroth, Einiges über die Bearbeitung des Glases. Haarmanns Zeitschrift für Bauhandwerker 1881. S. 79.
22. Schwering, Über die Biegungsfestigkeit des Glases mit Rücksicht auf die Konstruktion von Glasbedachungen. Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins zu Hannover 1880, S. 69. Grundlegende Untersuchung.
23. Connert, Über die Biegungsfestigkeit des Glases. Civilingenieur. 1888. S. 1, 109 und 621.
24. Hartig, Die Bruchfestigkeit des Glases. Civilingenieur. 1892. S. 265.
25. Sur la résistance à la flexion du ver trempé. Comptes rendus. Bd. 90. S. 194.
26. R. Weber, Über die chemische Zusammensetzung der Gläser und ihre Widerstandsfähigkeit gegen atm. Einflüsse. Ann. d. Phys. u. Chemie, neue Folge. Bd. 4. S. 431.
27. Neuerungen in der Herstellung von Drahtglas und Preßglas. Dingl. polyt. Journal. 1896. Bd. 299. S. 12.

Anstriche.

28. R. Krüger, Baustofflehre II, S. 249—274.
29. E. Gerhardt, Baustoffkunde, S. 220—225.
30. Th. Böhm, Kapitel Hochbaukunde im Taschenbuch für Bauingenieure. Jul. Springer, Berlin. 1911. S. 753—758.
31. Dr. Jakobitz, Über desinfizierende Wandanstriche. Münchener med. Wochenschrift. 1901 vom 12. II.
32. Dr. L. Rabinowitz, Dgl. Zeitschr. für Hygiene und Infektionskrankheiten. 1902.
33. M. Foerster, Die Meißnerschen Anstrichfarben. Eisenbau. 1912. Märzheft.
34. Drucksachen der Firma G. Zonca & Cie., Kitzingen a. M. über Zoncafarbe.
35. Drucksachen der Firma H. Schmincke & Cie., Düsseldorf-Gräfenberg, über Monumentalmalerei.
36. Drucksachen über Keßlers Fluate, Hans Hauenschild, Berlin.
37. Drucksachen über Testalin, Hartmann und Hauers Hannover.
38. Drucksachen über Szerelmey-Schutzmittel, Hector und Brosius, Frankfurt a. M.
39. Drucksachen über die Gerhardtschen Kaseinfarben, A. Richard, Düsseldorf.
40. Drucksachen über die Meißnerschen Farben, R. Meißner, Heidenau b. Dresden.
41. Drucksachen über die Porosilfarbe, Kauschmann & Cie., Cassel.
42. Drucksachen über Keimsche wetterfeste Mineral-Anstrichfarben, Gewerkschaft Offenstetten-München.
43. Drucksachen über Dr. Roths Inertol, Paul Lechner, Stuttgart. Vgl. auch Z. d. B. 1906, Nr. 75, D. B. 1908, Nr. 24, Gesundheitsingen. 1908, Nr. 14.
44. Drucksachen über Joszsche Dekorationswandbekleidung (biegbares Emaillemetall) von Louis Micthe, Leipzig.
45. Drucksachen der Firma Rosenzweig u. Baumann, Cassel, über verschiedenste Anstriche, namentlich die Porzellan-Emaille-Farben.
46. Drucksachen der A.-G. Johann Jeserich, Hamburg: Siderosthen-Lubrose.

Tapeten.

47. Vgl. u. a. R. Krüger, Baustofflehre II, S. 297 u. ff.
48. E. Gerhardt, Baustoffkunde, 237.

Lincrusta.

49. Drucksachen der Delmenhorster Linoleum-Fabrik Anker (vgl. auch unter Linoleum).

Sachverzeichnis.

Die angegebenen Zahlen bezeichnen die Hauptseiten des Textes.
Abk.: P.-Z. = Portlandzement. E.-P-.Z. = Eisenportlandzement.

A.

Aalborg-Ofen 615.
Albrecht-Meier-Ofen 583.
Amphibolin-Farbe 759.
Anstriche 750—761.
Antonys flüssiges Kasein 758.
Asbest-Gewebe 735—736.
Aspdin's Patent 577—578.
Asphalt-Beton 719.
Asphalt (Bitumengehalt) 709—710.
— Entstehung 707.
— Festigkeit 711.
— -Filzplatten 719.
— Gewinnung 711—712.
— Isolierarbeiten 719—720.
— künstlicher 721—723.
— -lacke, -farben 720—721.
— -leinenpappe 731.
— -Mastix 717.
— Natur- 706.
— Verwendung 712—721.
— Vorkommen 706—709.
— Zusammensetzung 709.
Asphaltin-Pappe 731.
— -Straßenbelag 720.
Asphaltstein 706.
— Verwendung 711.
Ausbeute des Mörtels 576.

B.

Baracken-Pappe 730—731.
Baufluat 755.
Bergteer 706.
Beton, geschichtliche Entwickelung 580.
— Transport- 669.
Biehnsche Dichtung 719.

C.

Cosmos-Tafeln 731—732.

D.

Dachpappe 728—730.
Dachpix 731.
Diabasit 607.
Dichtigkeit des Mörtels 576.
Dietzschscher Ofen 614.
Drahtglas 748.
Drehrohr-Ofen 616—617.
Duresco-Pappe 731.

E.

Edelputz 605.
Eisenanstriche, Nachtrag 761.
Eisenüberzugsöl von Meißner 754.
Electro-Glas 749.
Emaille-Farben 756.
E.-P.-Z. Eigenschaften 687—688.
— Erklärung 684—685.
— geschichtliche Entwickelung 685—686.
— Herstellung 686—687.
— Schlackenbeschaffenheit 686.
— Verwendung 688.
Erfurter Kammerofen 583.
Erz-Zement 691.
Eternit-Schiefer 736.

F.

Farbe (Desinfektionsnachweis) 756.
Farben 753—754.
Farbprüfung 751—754.
Felsit-Porphyr-Putz 607.
Filz-Pappen 730.
Filzplatten 742—743.

G.

Gerhardts Kaseinfarben 757—758.
Gernentzdach 744—745.
Geschichte des Mörtels 576—581.
Gewebebauplatten 743—744.

Gewirkte Tapeten 762.
Gips-Beton 585.
Gips-Estrich, Herstellung 586.
Gipsmörtel 581–587.
— Brennen 582—584.
— Erhärtung 584.
— Festigkeit 586.
— Prüfung 586—587.
Glas 745–750.
— Farbstoffe 746.
— Fehler 749–750.
— geblasenes 747.
— gegossenes 747–749.
— Herstellung 746—747.
— -Mosaik 750.
— -Prüfung 750.
— Rohmasse 745.
— Zusammensetzung 745.
Gobelin-Tapeten 762.
Goudron 717.
Graukalk 596—601.
— Ausgiebigkeit 597.
— Löschen 597.
— -mörtel, Erhärtung 597.
— — Festigkeit 598.
Gußasphalt 716—720.
— Verwendung 717—720.
Guttapercha 741.

H.

Harzer Schachtofen 583.
Helioth-Putz 585.
Hercula-Farbe 760.
Holzzement 739.
Hotop-Ofen 583.
Hydraulische Kalke s. Wasserkalke.
— Zuschläge 692—702.
— — künstliche 702.
Hyperolin-Farbe 760.

I.

Indurin-Anstrich 761.

J.

Johnson 578.
Joszsche Wandbekleidung 762—763.

K.

Kalk-Brennöfen 588—591.
Kalk, Löschen, maschinell 593.
— — (Weißkalk) 591—593.
Kalkmörtel, Ausschreibungsbedingungen 599.
— Prüfung 598—599.
— -Zuschläge 599.
Kalk-Traß-Mörtel 694—696.
Kalkzementmörtel 599—601.
Kaseinfarben 757.
Kasein-Anstriche 757.
Kathedral-Glas 749.
Kautschuk 740—741.
Kautschukin-Isoliertafeln 741.
Keimsche Mineralfarben 760.
Kiton-Verfahren (Schotter-Straßen) 722—723.
Kitt-Arten 723–726.
Kittmasse des Mörtels 576.

L.

Lackfarben-Anstriche 756.
Lambert-Zement 691.
Lasur-Farben 756.
Leder-Tapeten 762.
Lehm-Estrich 581.
Lehmmörtel 581.
Leimfarben-Anstriche 754—755.
Leinen-Stoffe, wasserdichte 736—737.
Leinölfirnis 755.
Lincrusta-Tapeten 762.
Linoleum 737—740.
Lithin 607.
Luft-Kalke 587—601.

M.

Magermilch, Zusatz (Weißkalk) 596.
Marmor Putz 585.
Meiler für Kalkbrennen 588.
Meißners Farben 751—754.
Menge des Mörtels 576.
Mischmaschinen, P.-Z.-Mörtel 672–684.
Mischzemente 691—692.
Mörtel, Herstellung (Weißkalk) 593–594.
Münchs Dauerfarben 756.
Musiv-Verglasung 750.

O.

Oberlicht-Glas 749.
Ölfarbenanstriche 755—756.
Ornamentglas 748.

P.

Pachytect 719—720.
Papiertapeten 761—762.
Porosilfarbe 759.
Portland-Zement 610—684.
P.-Z., Anmachewasser, Menge 637.
— Aufbereitung 611—613.
— Ausdehnung bei Erhärtung 639.
— -Beton, Bestimmungen für Stampfbeton 661—669.
— — Bestimmungen für Stampfbeton-Druckversuche 667—669.
— Brennen 613—617.
— chemische Art des Erstarrens 636.
— deutsche Normen 610, 619—629.
— Einfluß der Mahlung 633.
— elastische Verhältnisse 640—643.

Portland-Zement, Erklärung 610.
— -Fabrik 1. in Deutschland 578 - 579.
— -Fabrikanten, Verein deutscher 623.
— Farbe 636.
— Geschichtliche Entwickelung der Prüfung von 619—622.
— Halbnaßverfahren 612.
— im Seewasser 636.
— -industrie, das Anwachsen der deutschen 579.
— -Mörtel, elastische Dehnung 643.
— — Elastizitätsgrenze 643.
— — Festigkeitsverhältnisse 643—654.
— — und -Beton, Elastizitätszahlen 640—643.
— — usw., Abnutzungsfestigkeit 651.
— — usw., Anwendungsgebiete 659—669.
— — usw., Ausbeute 659.
— — usw., Biegfestigkeit 649—650.
— — usw., Druckfestigkeit 643—647.
— — usw., Einwirkung chemischer Wässer 634—655.
— — usw., Einfluß von Kanalgasen 654.
— — usw., Einfluß von Lokomotivgasen 655.
— — usw., Festigkeit, Einfluß der Zuschlagstoffe 653—654.
— — usw., Feuersicherheit 657—658.
— — usw., Haftfestigkeit 651—653.
— — usw., im Moorwasser 654—655.
— — usw., Kälte und Wärme, Einfluß auf Erhärtung 656.
— — usw., Scherfestigkeit 650—651.
— — usw., Schutzanstriche 658.
— — usw., Schutz gegen chemische Wässer 654.
— — usw., Temperaturausdehnung 557.
— — usw., Verhalten gegenüber elektrischen Strömen 655—656.
— — usw., Wasserdichtheit 658.
— — usw., Zugfestigkeit 648—649.
— österreichische Normen 629—635.
— Rohstoffe 611.
— Schlemmverfahren 611—612.
— Schwindrisse 639.
— Struktur 636.
— Traßzusatz 638.
— Treiben 639—640.
— Trockenverfahren 612.
— Volumenbeständigkeit 638—640.
— Wasserbeschaffenheit (chemisch) 637—638.
— Zerkleinerung 617.
Preßhartglas 749.
Puzzolan-Erde 701.
Pyknotan-Verfahren (Traß-Teer-Schotter-Straßen) 700—701.

R.

Riessolin-Oxyd 751.
Ringofen (Kalk) 590—591.
— (Portlandzement) 613.
Rohr 744.
Roman-Zemente 607—610.
— deutsche Fundorte 610.
— Lieferung 610.
— -Mörtel 608—609.
— — Ausbeute 609.
— — Festigkeit 609.
— Normen 607—608.
Rubberpaint 751.
Ruberoid 733—735.
Rubol 751.
Rüdersdorfer Kalkofen 590.

S.

Sammettapeten 762.
Sand-Asphalt-Pflaster 721—722.
Santorin-Erde 701.
Schachtöfen (Kalk) 589—590.
Schachtofen (Portland-Zement) 613.
Schlackenzement, Königshofener 689—690.
Schlackenzemente 688—691.
— österreichische Normen 690—691.
Schneider-Ofen 615.
Siebold-Stern-Zement 691.
Sikkativ 755.
Silikat-Farbanstriche 758—761.
Sortiermaschinen, P.-Z.-Mörtel usw. 669—670.
Spiegelglas 749.
Stampfasphalt 713—716.
Stroh 744.
Stuck-Gips, Brennen 582.
Sturmpappe 731.
Superator-Platten 735—736.

T.

Tapeten 761—763.
Tectolith 719.
Teer 728.
— Verwendung (als Anstrich und zur Tränkung) 732—733.
Terranova 606.
— -Secura 606.
Terrasit-Edelputz 606.
Thermon 756.
Tillrén-Platten 750.
Topasit 607.
Traß 692—700.
— chemische Einwirkung beim Erhärten 694.
— Geschichte 693.
— -Mörtel 694—700.
— — erprobte Mischungsverhältnisse 699.
— — Vorzüge 693—694.
— Prüfungsnormen 699—700.
Trichteröfen (Kalk) 589.

U.

Überfangglas 746.

V.

Velourstapeten 762.
Verlängerter Zementmörtel 599—601.

W.

Wachsfarben-Anstriche 757.
Waschmaschinen, P.-Z.-Mörtel usw. 670—672.
Wasserglas-Farbanstriche 758—761.
Wasserkalke 601—607.
Wasserkalk, Ausbeute 604.
— Brennen 601—602.
— Festigkeit 605.
— Löschen 602—603.
Wasserkalk-Mörtel 604—605.
— Prüfung 605.
— Verwendung 605.
Weiß-Kalk 588—596.
— Ausbeute 593.
— Brennen 588.
— Festigkeit 595—596.
— Mörtelerhärtung 594—595.
Wolltapeten 762.

Z.

Zement-Kalk-Traß-Mörtel 697—698.
Zement-Traß-Mörtel 696—697.

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 047372138